



TESIS - TE142599

**PEMILIHAN LOKASI *WIND FARM* MENGGUNAKAN
*FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS***

TEUKU MULTAZAM

2214201002

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng

Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017



TESIS - TE142599

**PEMILIHAN LOKASI *WIND FARM* MENGGUNAKAN
*FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS***

TEUKU MULTAZAM

2214201002

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng

Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Magister Teknik (M.T) di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Nama Teuku Multazam
NRP. 2214201002

Tanggal Ujian : 6 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr.Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
NIP. 195809161986011001

(Pembimbing I)

Halaman ini sengaja dikosongkan

2. Dr. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

(Pembimbing II)

3. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197311192000031001

(Penguji)

4. Dr. Ir. Soedibyo, MMT.
NIP. 195512071980031004

(Penguji)

5. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198006032006041003

(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“PEMILIHAN LOKASI *WIND FARM MENGGUNAKAN FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (F-AHP)*”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Teuku Multazam
NRP. 2214201002

Halaman ini sengaja dikosongkan

PEMILIHAN LOKASI *WIND FARM* MENGGUNAKAN FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (F-AHP)

Nama mahasiswa : Teuku Multazam
NRP : 2214201002
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
2. Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

ABSTRAK

Pemilihan lokasi *windfarm* merupakan elemen penting dalam membangun pembangkit listrik tenaga angin. Pemilihan ini bertujuan untuk menentukan suatu lokasi yang ideal dari sisi produksi energi listrik, ekonomis dan ramah lingkungan. Lokasi yang digunakan dalam pemilihan ini adalah Sukomoro, Rejoso, Pace, Nganjuk, dan Lengkong. Pengambilan keputusan dilakukan dengan metode *fuzzy analytic hierarchy process* berdasarkan tujuh sub kriteria yaitu, estimasi produksi energi listrik, *payback periode*, akses grid, akses jalan, jarak pemukiman, emisi dan *electromagnetic inference*. Masing-masing sub kriteria dilakukan penilaian level kepentingan berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran pada setiap lokasi. Penilaian level kepentingan digunakan untuk perbandingan berpasangan sehingga menghasilkan bobot prioritas pada masing-masing lokasi. Bobot tersebut dijumlahkan sehingga menghasilkan bobot keputusan. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa alternatif lokasi Sukomoro memiliki bobot tertinggi yaitu, 0.2518, sedangkan lokasi Nganjuk, Pace Rejoso dan Lengkong berada pada urutan dua, tiga, empat dan kelima dengan bobot yang dihasilkan adalah 0.2335, 0.1361, 0.1290 dan 0.2189.

Kata kunci: Analitik Hirarki Proses (AHP), *Fuzzy Analitik Hirarki Proses (F-AHP)*, *Wind Farm*, dan *Wind Power* Kriteria.

Halaman ini sengaja dikosongkan

WIND FARM SITE SELECTION BASE ON FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD

By : Teuku Multazam
Student Identity Number : 2214201002
Supervisor(s) : 1. Prof. Dr. Ir Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng
2. Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng

ABSTRACT

Selection of windfarm location is an important element in building wind power plants. It aims to determine an ideal location of energy production, economic and environmental agreeable. The research was conducted of Sukomoro, Rejoso, Pace, Nganjuk, and Lengkong. The decision making is done by fuzzy analytic hierarchy process method based on seven sub criteria that is, estimation of electric energy production, payback period, proximity of grid access, road access, residential distance, emission and electromagnetic inference. Each sub criterion is then assessed for the level of interest based on the calculation and measurement at each location. The importance level assessment is used for pairwise comparisons resulting in priority weighting at each location. The weights are summed so as to produce decision weight. Based on the calculation, it is found that the alternative location of Sukomoro has the highest weight that is, 0.2518, while the location of Nganjuk, Pace Rejoso and Lengkong are on the order of two, three, four and fifth with the resulted weights are 0.2335, 0.1361, 0.1290 and 0.2189.

Key words: Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP), Wind farm and Wind Power Criteria

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil 'Alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan kemudahan dalam menyelesaikan Tesis yang berjudul: **Pemilihan Lokasi Wind Farm Menggunakan Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP)**. Tesis ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Sistem Tenaga, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Sepuluh Nopember Surabaya.

Saat menyusun tesis ini, penulis tidak lepas dari yang namanya kesulitan dalam penyelesaiannya. Namun, dengan bantuan dari pihak-pihak yang rela ikhlas membantu akhirnya selesailah Tesis ini dengan baik. untuk itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Segenap keluarga penulis, Ayahanda almarhum T H Mansur bin Muda Gade, dan Ibunda almarhumah Cut Hj Mardhiah binti Ibrahim, serta abangda dan kakanda Teuku Mustaqim, Cut Lailatul Qadri, Teuku Mukhlis, Cut Qadriah, Cut Fajriah, Teuku Muttaqin dan Teuku Khaidir yang telah memberikan doa, semangat, dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr.Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng dan Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing penulis yang telah rela meluangkan banyak waktu untuk membimbing penulis, memberikan saran, dan bantuan, dan juga pengetahuan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan baik dan lancar.
3. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng, Ph.D., Dr. Ir. Soedibyo, MMT dan Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D selaku Dewan Penguji yang telah banyak memberikan saran dan kritik dalam penyelesaian tesis ini.
4. Keluarga besar Jurusan Teknik Elektro, baik para dosen, karyawan yang telah meluangkan waktunya untuk mendidik dan membantu penulis selama menjalani perkuliahan di ITS.

5. Keluarga besar Laboratorium LIPIST, Bapak Dosen, Bapak Ibu Mahasiswa S3, member S2, dan adik asisten laboratorium atas kerjasama dan dukungannya kepada penulis selama ini.
6. Team Riset Turbin Angin Laboratorium LIPIST, Ibu Ratna, Irwan, Evin, Sefri, dan Dwiyani atas bimbingan, dukungan, dan kerjasamanya selama ini sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini
7. Keponakan penulis Muazzin, Muhayat, Muhammad, Azam, Anam, Khauser, Illa, Nisa, Miska, Atiqah, Dini, Cutza, Silva, Silka, Sahira dan Zalva
8. Bang Yusuf, Bang Syakur, Bang Pon, Kak Rahmati, Kak Mida, Kak Risa dan Kak Mawar.
9. Nurhakimah, bu Yayuk, Bang Faisal, Kak Na, Yuli, Vicky, Alif atas bantuan, doa, dukungan dan semangatnya.
10. Teman-teman angkatan 2014 Ganjil atas dukungan dan bantuannya kepada penulis selama menjalani perkuliahan di ITS.
11. Teman-teman angkatan 2014 Genap atas dukungan dan bantuannya kepada penulis selama menjalani perkuliahan di ITS.
12. Teman-teman angkatan 2015 Ganjil atas dukungan dan bantuannya kepada penulis selama menjalani perkuliahan di ITS.
13. Teman-teman angkatan 2015 Genap atas dukungan dan bantuannya kepada penulis selama menjalani perkuliahan di ITS.
14. Dan semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebut satu-satu.

Penulis berharap dengan penyusunan Tesis ini dapat menjadikan suatu manfaat dan sumbangan pemikiran kepada pembaca yang lainnya. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk kemajuan Tesis ini dimasa yang akan datang. Penulis juga memohon maaf apabila terdapat kekurangan pada Tesis kali ini.

Surabaya, 12 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Kontribusi.....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Wind Farm	5
2.2 Energi Angin	5
2.2.1 Kecepatan Angin.....	6
2.2.2 Sistem Pemanfaatan Energi Angin	6
2.3 Turbin Angin.....	9
2.4 Peramalan.....	10
2.4.1 Peramalan <i>Long Term</i>	11
2.4.2 Peramalan <i>Medium Term</i>	11
2.4.3 Peramalan <i>Short Term</i>	11
2.5 <i>Error</i>	11
2.6 <i>Artificial Neural Network (ANN)</i>	12
2.6.1 Model <i>Neuron</i>	13
2.6.2 Prinsip kerja ANN.....	14
2.6.3 Arsitektur ANN.....	14
2.7 Metode Pembelajaran ANN.....	16
2.8 Fungsi Aktivasi	17
2.9 <i>Lavenberg-Marquardt Algorithm</i>	17

2.9.1 Pelatihan	18
2.9.2 Pengujian <i>ANN</i>	20
2.10 <i>Payback Period</i>	20
2.11 Observasi	21
2.12 <i>Emisi</i>	21
2.13 <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	21
2.13.1 Langkah-Langkah <i>AHP</i>	22
2.14 <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Procces (F-AHP)</i>	23
2.14.1 Langkah-langkah <i>F-AHP</i>	25
BAB 3 PEMILIHAN LOKASI <i>WIND FARM</i>	27
3.1 Pengumpulan Data.....	28
3.1.1 Pengukuran	28
3.1.2 Kebutuhan Beban Listrik.....	29
3.1.3 Biaya Investasi <i>Wind Farm</i>	29
3.1.4 Emisi.....	30
3.1.5 Akses Grid	31
3.1.6 Akses Jalan Utama.....	32
3.1.7 Jarak Pemukiman Warga	32
3.2 Prediksi Kecepatan Angin	33
3.3 Estimasi Produksi Energi Listrik.....	35
3.4 Perancangan <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>	37
3.4.1 Membangun Struktur Hirarki	37
3.4.2 Penilaian Level Kepentingan.....	39
3.4.3 Perhitungan Fuzzy Synthetic	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pengolahan Data Angin	43
4.1.1 Profil Kecepatan Rata- Rata Bulanan Periode Januari – Desember.....	43
4.1.2 Profil Kecepatan Angin, Suhu, Kelembapan, dan Tekanan Udara	44
4.2 Hasil Optimalisasi Komposisi Struktur <i>BPNN</i>	46
4.2.1 Hasil <i>Setting Parameter Learning Rate</i> dan <i>Hidden Neuron Layer</i> terhadap <i>MAPE</i>	47
4.2.2 Hasil <i>Setting Parameter Learning Rate</i> dan <i>Hidden Neuron Layer</i> terhadap Waktu.....	48

4.2.3 Hasil Setting Parameter Iterasi dan <i>Hidden Neuron</i> terhadap <i>MAPE</i>	50
4.2.4 Hasil Simulasi Prediksi Kecepatan Angin Menggunakan <i>BPNN</i>	52
4.2.5 Perhitungan Distribusi Kecepatan Angin	59
4.3 Produksi Energi Listrik	60
4.4 Kriteria Ekonomis	61
4.4.1 Hasil <i>Payback Periode</i>	61
4.4.2 Hasil Akses Grid	63
4.4.3 Hasil Akses Jalan	63
4.5 Kriteria <i>Ramah Lingkungan</i>	64
4.5.1 Jarak Pemukiman	64
4.5.2 Hasil Perhitungan Reduksi Emisi	64
4.5.3 Hasil Penilaian <i>Effect EMI</i> terhadap Masyarakat	65
4.6 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas	66
4.6.1 Hasil Bobot Prioritas Kriteria Utama	67
4.7 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Hirarki Alternatif Terhadap Sub Kriteria	68
4.7.1 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Alternatif Terhadap Sub Kriteria Produksi Energi Listrik	69
4.7.2 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Alternatif Terhadap Sub Kriteria Ekonomi	69
4.7.3 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Hirarki Alternatif Lokasi Terhadap Sub Kriteria Ramah Lingkungan	70
4.8 Hasil Perhitungan Bobot Keputusan	71
BAB 5 PENUTUP	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77
BIODATA PENULIS	77

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Umum <i>Wind Farm</i> [22]	5
Gambar 2.2 Kecepatan Angin Rata-Rata Pada Ketinggian 10 Meter di Indonesia per Agustus 1999 sampai Juli 2010	8
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik Daya Output Turbin Angin Terhadap Kecepatan Angin [16]	9
Gambar 2.4 Turbin Angin Terhadap Kecepatan Angin [16]	10
Gambar 2.5 Model Artificial Neural Network	13
Gambar 2.6 Jaringan Lapis Tunggal.....	15
Gambar 2.7 Arsitektur Lapis Jamak	15
Gambar 2.8 Arsitektur Lapis Kompetitif.....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.2 Proses Pengukuran data dengan AWS pada Setiap Alternatif Lokasi	28
Gambar 3.3 Struktur Neural Network untuk Peramalan Kecepatan Angin	34
Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan <i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>	37
Gambar 3.5 Hirarki Kriteria, Sub Kriteria dan Alternatif <i>F-AHP</i>	38
Gambar 4.1 Profil Kecepatan Angin Rata-Rata di Kabupaten Nganjuk Periode Januari – Desember	43
Gambar 4.2 Profil Kecepatan Angin Rata-Rata Harian Periode Agustus	44
Gambar 4.3 Profil Suhu Harian Periode Agustus	45
Gambar 4.4 Profil Tekanan Harian Periode Agustus	45
Gambar 4.5 Profil Kelembapan Udara Harian Periode Agustus	46
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh <i>Learning Rate</i> dan <i>Hidden Neuron</i> terhadap <i>MAPE</i>	47
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Iterasi dan <i>Hidden Neuron</i> terhadap <i>MAPE</i>	50
Gambar 4.8 Hasil <i>Training</i> Lokasi Sukomoro	52
Gambar 4.9 Hasil <i>Testing</i> Lokasi Sukomoro.....	53
Gambar 4.10 Hasil <i>Training</i> Lokasi Rejoso	54
Gambar 4.11 Hasil <i>Testing</i> Lokasi Rejoso	54
Gambar 4.12 Hasil <i>Training</i> Pada Lokasi	55
Gambar 4.13 Hasil <i>Testing</i> pada Lokasi.....	56
Gambar 4.14 Hasil <i>Training</i> Pada Lokasi Nganjuk	56
Gambar 4.15 Hasil <i>Testing</i> Pada Lokasi Nganjuk.....	57
Gambar 4.16 Hasil <i>Training</i> Pada Lokasi	58
Gambar 4.17 Hasil <i>Testing</i> Pada Lokasi Lengkong	58
Gambar 4.18 Probability Density Function Kecepatan Angin Pada Setiap Lokasi	59
Gambar 4.19 Hasil Pengurangan Emisi karbon dioksida (Co ₂) Pada Setiap Alternatif Lokasi	65
Gambar 4.20 Bobot Keputusan Lokasi <i>Wind farm</i>	71

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Kecepatan Angin 10 meter permukaan tanah [21].....	7
Tabel 2.2 Skala nilai AHP dari L Saaty [25]	23
Tabel 2.3 Skala Nilai Triangular Fuzzy Number [5].....	24
Tabel 3.1 Spesifikasi Beban Daya Listrik	29
Tabel 3.2 Kebutuhan Biaya Peralatan dan Perawatan	30
Tabel 3.3 Jarak Akses Grid terhadap Alternatif Lokasi	31
Tabel 3.4 Jarak Akses Jalan terhadap Alternatif Lokasi	32
Tabel 3.5 Jarak Pemukiman terhadap Alternatif Lokasi	33
Tabel 3.6 Konfigurasi Jumlah Hidden Neuron, Learning Rate dan Iterasi pada Simulasi Prediksi Kecepatan Angin.....	35
Tabel 3.7 Spesifikasi Sistem Konversi Energi Angin [16].....	36
Tabel 3.8 Jumlah turbin turbin yang digunakan pada setiap Lokasi	36
Tabel 3.9 Hasil Penilaian Level Kepentingan Kriteria Utama	40
Tabel 3.10 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Ekonomi	40
Tabel 3.11 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Lingkungan	40
Tabel 4.1 Pengaruh Learning Rate dan <i>Hidden Neuron</i> terhadap Waktu	48
Tabel 4.2 Komposisi ANN Untuk Simulasi Prediksi Kecepatan Angin	51
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Produksi Energi, Kebutuhan Energi, <i>Eksport</i> dan <i>Import</i> Energi Setiap Lokasi	60
Tabel 4.4 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Potensi Energi Listrik.	61
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Payback Periode.....	62
Tabel 4.6 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria <i>Payback Periode</i>	62
Tabel 4.7 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Akses Grid	63
Tabel 4.8 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Akses Jalan.....	63
Tabel 4.9 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Jarak Pemukiman	64
Tabel 4.10 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Emisi.....	65
Tabel 4.11 Hasil Penilaian level kepentingan sub kriteria EMI	66
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas Untuk Kriteria Utama dan Sub Kriteria.	66
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas Untuk Kriteria Utama dan Sub Kriteria.	68

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi listrik oleh masyarakat Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan yang sangat signifikan, hal ini disebabkan oleh pertumbuhan industri yang semakin pesat. Pada tahun 2013 kapasitas daya listrik yang terpasang adalah sebesar 47.128 Mega Watt (MW) sedangkan pada tahun 2014 daya listrik terpasang meningkat menjadi 53.585 MW [1], artinya dalam setiap tahun permintaan listrik mengalami peningkatan sebesar 13,7 %. Kondisi tersebut bukan berarti permintaan energi listrik di Indonesia sudah terdistribusi semuanya, hal ini terlihat dari rasio elektrifikasi yang hingga saat ini masih berada pada angka 87.5 % [1], artinya saat ini masih kekurangan energi listrik sebesar 12.5 %. Untuk menutupi kebutuhan tersebut maka perlu dilakukan pembangunan pembangkit listrik baru.

Kondisi Indonesia yang memiliki iklim tropis menjadi sebuah peluang besar dalam mewujudkan banyak pembangkit, sebab terdapat banyak potensi energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan, salah satunya adalah tenaga angin.

Kabupaten Nganjuk merupakan salah satu wilayah di Provinsi Jawa Timur yang memiliki potensi energi angin yang bisa dikonversikan menjadi listrik [2]. Ada lima alternatif lokasi yang memiliki potensi angin tinggi yaitu, Sukomoro, Rejoso, Pace, Nganjuk, dan Lengkong [3].

Potensi angin tersebut merupakan salah satu sumber utama yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Sistem pemanfaatan PLTB dilakukan bermacam-macam diantaranya dengan membangun beberapa turbin angin (*wind farm*) pada suatu area atau lokasi tertentu.

Dalam melakukan penentuan suatu lokasi *wind farm*, faktor utama yang harus dimiliki yaitu potensi energi listrik, ekonomis dan ramah lingkungan [4]. Faktor tersebut dinilai berdasarkan tujuh sub kriteria yaitu, estimasi produksi energi

listrik, *payback periode*, akses grid, akses jalan, jarak pemukiman, emisi dan *electromagnetic inference* [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Faktor dan sub kriteria itu dijadikan sebagai acuan dalam memilih lokasi *wind farm* yang optimal. Pemilihan lokasi *windfarm* dalam penelitian ini menggunakan *fuzzy analytic hierarchy process* (F-AHP). Metoda ini mampu mengatasi permasalahan dengan kasus-kasus kompleks, multi kriteria, dan samar-samar atau tidak pasti [15].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana memperoleh suatu lokasi *wind farm* yang memiliki potensi energi listrik maksimal, ekonomis dan ramah lingkungan dengan menggunakan *fuzzy analytic hierarchy process*.
2. Bagaimana menentukan level kepentingan dan urutan prioritas kriteria-kriteria dalam penentuan suatu lokasi *wind farm*.
3. Bagaimana mendesain *BPNN* untuk memprediksi kecepatan angin yang digunakan untuk estimasi produksi energi listrik.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu lokasi *wind farm* optimal yang mampu menyuplai energi listrik secara maksimal, ekonomis dan ramah lingkungan.

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibatasi pada penelitian ini adalah

1. Kriteria yang digunakan dalam penelitian ini adalah estimasi produksi energi listrik, *payback periode*, akses grid, akses jalan, jarak pemukiman, emisi dan *electromagnetic inference*.
2. Estimasi produksi energi listrik dilakukan menggunakan parameter SKEA TSD 500 dengan kapasitas maksimum daya *output* adalah 500 watt, diameter blade 0.8 meter, area sapuan (A) 2.0096 meter².

3. Prediksi dilakukan mulai April hingga Nopember. Dalam melakukan prediksi kecepatan data yang digunakan yaitu, waktu, suhu, kelembapan, kecepatan, dan arah angin
4. Alternatif lokasi yang digunakan adalah, Nganjuk, Pace, Rejoso, Sukomoro, dan Lengkong.
5. Energi listrik yang dibutuhkan pada setiap alternatif lokasi adalah sebesar 7148.4 kWh/ tahun.

1.5 Kontribusi

Kontribusi dari penelitian ini adalah memudahkan para pihak dalam mendapatkan lokasi yang strategi berdasarkan kemampuan produksi energi listrik secara maksimal, murah dan ramah lingkungan untuk pembangunan *windfarm* di Kabupaten Nganjuk.

Halaman ini sengaja dikosongkan

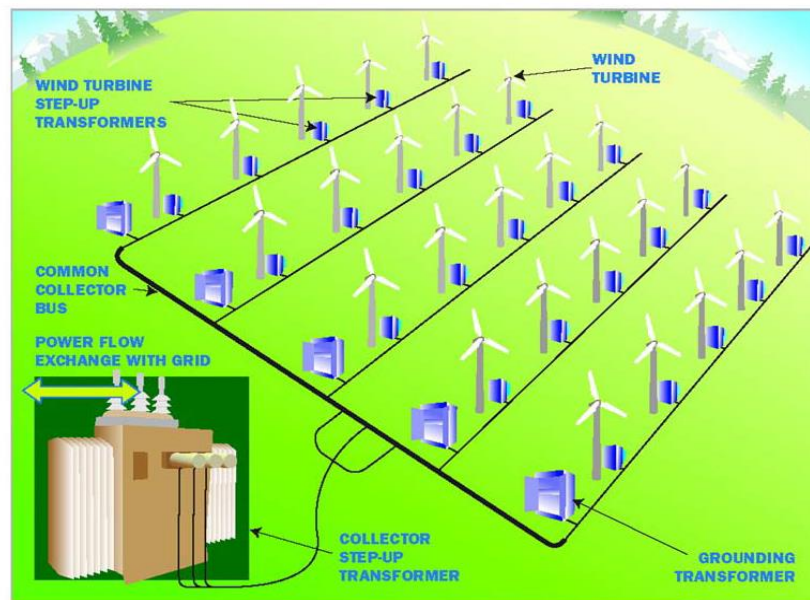
BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Wind Farm

Wind farm merupakan suatu lokasi yang dipasang beberapa turbin angin yang difungsikan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Volume energi yang dibangkitkan sangat dipengaruhi oleh luasan area yang akan ditentukan. Secara umum, ada tiga faktor utama yang harus dipenuhi untuk mendapatkan area *wind farm* yang ideal yaitu mampu memproduksi energi secara maksimal, murah dan ramah lingkungan [4].

Ada banyak kriteria yang digunakan untuk mendapatkan lokasi *wind farm* yang ideal antara lain: estimasi produksi energi listrik, *payback periode*, kedekatan akses grid, kemudahan akses jalan, mampu mereduksi *electromagnetic inference*, *noise* dan *visual* untuk masyarakat, dan emisi [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].



Gambar 2.1 Skema Umum *Wind Farm* [22]

2.2 Energi Angin

Energi angin merupakan sumber utama untuk keberlangsungan *wind farm*. Proses terjadinya angin disebabkan adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi.

Angin bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Aliran angin yang terjadi di permukaan bumi disebabkan oleh perbedaan suhu udara pada suatu wilayah. Daerah yang menerima energi matahari lebih besar akan mempunyai temperatur udara yang lebih tinggi dan tekanan udara yang lebih rendah sehingga akan terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara. Ketidakteraturan hembusan angin disebabkan struktur permukaan bumi seperti adanya gunung dan lembah, adanya daratan dan lautan.

2.2.1 Kecepatan Angin

Variasi kecepatan angin pada suatu daerah sangat dibutuhkan untuk mengetahui karakteristiknya sehingga dapat digunakan untuk menghitung durasi energi angin yang bisa dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin. Kecepatan angin rata-rata dapat dihitung dengan persamaan [14]:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.1)$$

dengan:

V = kecepatan angin rata – rata (m/s).

V_i = kecepatan angin yang terukur (m/s).

t_i = lamanya angin bertiup dengan kecepatan V_i (m/s).

n = banyaknya data pengukuran.

2.2.2 Sistem Pemanfaatan Energi Angin

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya adalah :

1. Rotor (kincir), rotor turbin sangat bervariasi jenisnya, diameter rotor akan berbanding lurus dengan daya listrik. Semakin besar diameter semakin besar pula listrik yang dihasilkan.
2. Kecepatan angin, kecepatan angin akan mempengaruhi kecepatan putaran rotor yang akan menggerakkan generator.
3. Generator terbagi dalam beberapa karakteristik yang berbeda, generator yang cocok untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) adalah generator yang dapat menghasilkan arus listrik pada putaran rendah.

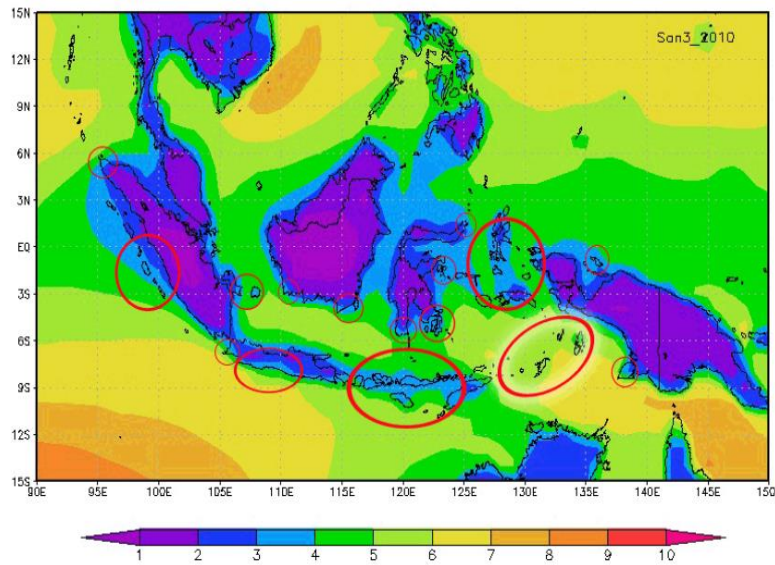
Karakteristik angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan turbin angin dan jari-jari satu meter dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Tingkat Kecepatan Angin 10 meter permukaan tanah [21]

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di daratan
1	000-0.02	-
2	0.3-1.5	Angin tenang, asap lurus keatas
3	1.6-3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4-5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5.5-7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0-10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8-13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air plampung berombak kecil
8	13.9-18.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	18.2-20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
10	20.8-24.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
11	24.5-28.4	Menimbulkan kerusakan parah
12	28.5-32.6	Tornado

Klasifikasi angin pada kelompok ketiga merupakan batas minimum dan angin pada kelompok delapan adalah batas maksimum energi angin yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik pada turbin angin skala kecil.

Berdasarkan data tabel 2.1, maka potensi energi angin di Indonesia untuk kecepatan angin rata-rata 3 m/s dengan ketinggian 10 meter dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kecepatan Angin Rata-Rata Pada Ketinggian 10 Meter di Indonesia per Agustus 1999 sampai Juli 2010

Untuk mengetahui besar energi potensi angin yang dapat dikonversi ke dalam bentuk energi listrik pada setiap lokasi dapat digambarkan melalui persamaan:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk menghitung daya mekanik dapat dilakukan dengan persamaan

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 v^3 \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk menghitung daya listrik dapat dilakukan melalui persamaan

$$P_e = \frac{1}{2} C_p \rho \pi R^2 v^3 \eta_g \quad (2.4)$$

dengan :

P_w = Daya Angin

P_m = Daya Mekanik

P_e = Daya Listrik

C_p = Koefisien daya

ρ = Kerapatan udara (kg/m^3)

πR^2 = Area sapuan rotor turbin angin (m^2)

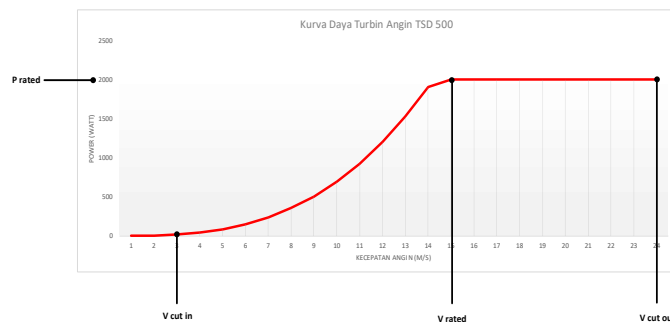
v = Kecepatan angin (m/s)

η_g = Efisiensi Generator

2.3 Turbin Angin

Teknologi untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik disebut turbin angin. The *Sky Dancer* merupakan salah satu jenis turbin angin tipe HAWT dengan 3 baling - baling menggunakan generator permanen magnet 18 *slot* 16 *pole* dan sistem transmisi 3 fasa. Memiliki nilai koefisien power 40%, dari total energi angin yang diterimanya menjadi energi mekanik. Turbin ini mulai berputar pada kecepatan angin 2.5 m/s dan mulai memproduksi listrik pada kecepatan angin 3 m/s.

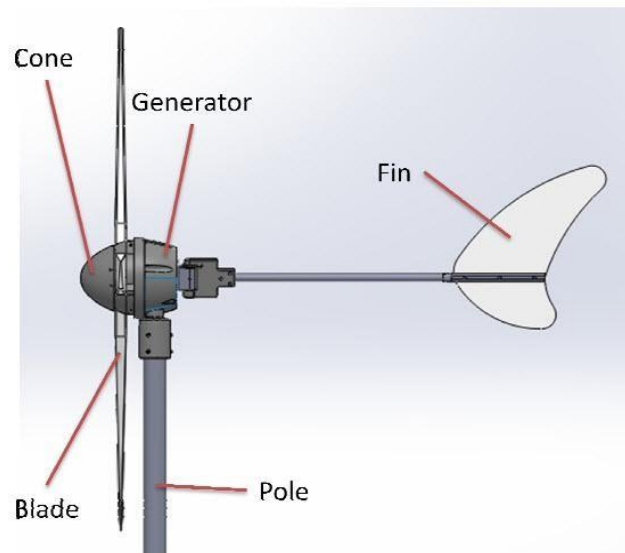
Hubungan kecepatan angin dan daya output dapat di lihat pada gambar 2.3 Kecepatan angin bisa mengalami tiga kondisi yaitu : *cut in*, nominal dan *cut out*.



Gambar 2.3 Kurva Karakteristik Daya Output Turbin Angin Terhadap Kecepatan Angin [16]

Kecepatan *Cut-in speed* atau kecepatan angin terendah dimana turbin angin mulai menghasilkan listrik. Kecepatan angin yang terlalu besar juga harus dibatasi agar tidak merusak turbin dan generator, kecepatan maksimum yang di bolehkan ini disebut *cut-out speed*.

Daya maksimal yang mampu dihasilkan oleh turbin adalah 500 Watt dengan panjang baling-baling 1 meter pada kecepatan angin 12 m/s dan di atasnya. Turbin ini dapat bertahan sampai kecepatan angin 33 m/s. Turbin angin TSD-500 dipasang pada ketinggian 4 hingga 11 meter di atas permukaan tanah.



Gambar 2.4 Turbin Angin Terhadap Kecepatan Angin [16]

2.4 Peramalan

Peramalan bertujuan untuk memperoleh hasil akhir mendekati kondisi aktualnya. Ada dua metode atau teknik peramalan yang dapat digunakan, yaitu teknik peramalan kualitatif dan kuantitatif.

Peramalan kualitatif dilakukan berdasarkan pendapat dan intuisi manusia sehingga data historis yang ada menjadi tidak begitu penting. Teknik peramalan

kuantitatif mengandalkan data historis yang dimiliki. Secara umum peramalan diklasifikasikan dalam tiga jenis:

2.4.1 Peramalan *Long Term*

Secara umum, peramalan jangka panjang merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk waktu yang lama mulai dari satu Minggu hingga beberapa tahun ke depan. Prediksi ini difungsikan untuk studi *desain* lokasi *windfarm*, *maintenance* sistem, pengelolaan operasional, dan mengoptimalkan biaya operasional dan studi untuk *desain wind farm* [17].

2.4.2 Peramalan *Medium Term*

Peramalan jangka menengah adalah peramalan yang digunakan untuk jangka waktu dari satu jam hingga satu 24 jam ke depan. Peramalan ini bertujuan untuk mendapatkan suatu karakteristik dan pola angin yang digunakan untuk membantu PLTB dalam pemeliharaan *plant* dan penjadwalan untuk menghidupkan pembangkit dan mengestimasi jumlah produksi energi listrik [17].

2.4.3 Peramalan *Short Term*

Peramalan jangka pendek adalah peramalan yang digunakan untuk jangka waktu dari beberapa detik, menit hingga beberapa jam berikutnya, peramalan mengatur tentang pemakaian jumlah beban dan untuk mengamankan operasional dalam memasarkan listrik [17].

2.5 Error

Hasil peramalan memiliki nilai *error*. ukuran *error* yang biasa digunakan dalam melakukan peramalan yaitu [18];

1. *Mean Absolute Error*; rata-rata nilai *absolute* dari *error* peramalan. Nilai MAE dapat dihitung melalui persamaan di bawah:

$$MAE = \frac{\sum |Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (2.14)$$

Dimana Y_t adalah data sebenarnya, \hat{Y}_t sebagai data ramalan dihitung dari model yang digunakan pada waktu t , dan n = banyak data.

2. *Mean Squared Error (MSE)*; kuadrat dari rata-rata *error* peramalan. Nilai MSE dapat dihitung melalui persamaan di bawah:

$$MSE = \frac{\sum |Y_t - \hat{Y}_t|^2}{n} \quad (2.15)$$

3. *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*

Nilai MAPE dapat dihitung melalui persamaan di bawah:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100 \% \quad (2.16)$$

2.6 *Artificial Neural Network (ANN)*

Artificial Neural Network adalah suatu metode berdasarkan sistem jaringan saraf biologis. Metode ini menggunakan elemen dasar yang disebut *neuron* yang digunakan sebagai jaringan yang saling menghubungkan sehingga menyerupai dengan jaringan saraf manusia.

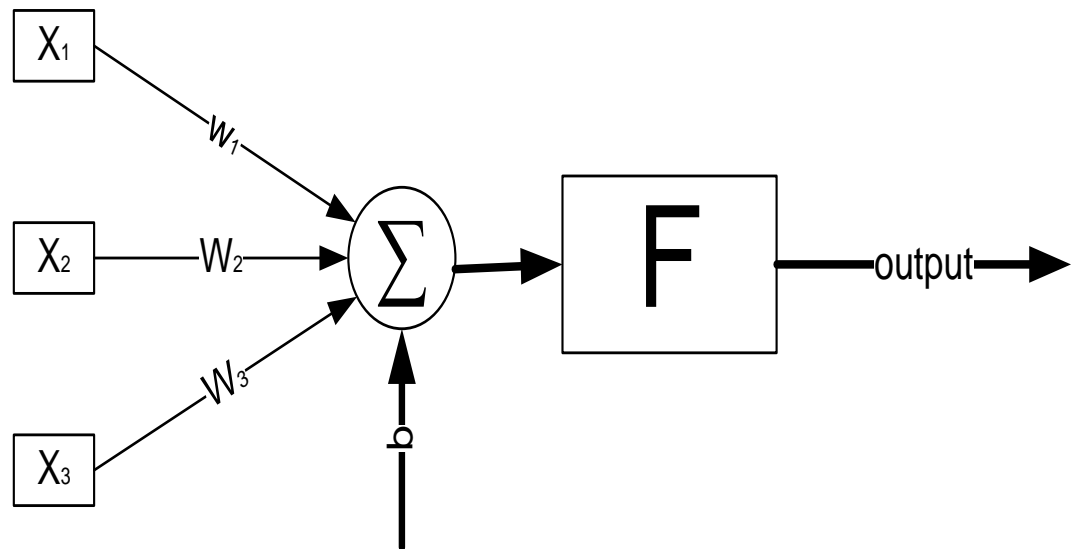
Neuron pada *ANN* adalah sistem yang memiliki sifat “*fault tolerant*” yang memiliki dua keutamaan. Pertama, dapat mengenali sinyal *input* yang berbeda dari yang pernah diterima sebelumnya. Kedua, akan tetap bekerja meskipun beberapa *neuronnya* tidak mampu bekerja maksimal.

Sifat *ANN* adalah memiliki karakteristik yang adaptif, yaitu dapat belajar dari data-data sebelumnya dan mengenal pola data yang mengalami perubahan. *ANN* merupakan sistem yang tidak terprogram, dimana semua keluaran yang ambil oleh jaringan berdasarkan pengalaman selama mengikuti proses pembelajaran atau pelatihan.

Hal yang ingin dicapai dengan melatih *ANN* adalah untuk mencapai keseimbangan antara kemampuan memorisasi dan generalisasi [19]. Kemampuan memorisasi adalah kemampuan *ANN* untuk mengambil kembali secara sempurna sebuah pola yang telah dipelajari. Kemampuan generalisasi adalah kemampuan *ANN* untuk menghasilkan respon yang bisa diterima terhadap pola *input* yang serupa dengan pola-pola yang telah dipelajari sebelumnya, ini sangat bermanfaat bila pada suatu saat ke dalam *ANN* itu diinputkan informasi baru yang belum pernah dipelajari, maka *ANN* itu masih akan tetap dapat memberikan keluaran yang paling mendekati.

2.6.1 Model Neuron

Model *neuron* terdiri dari tiga bagian, yaitu: fungsi penjumlahan (*summing function*), fungsi aktivasi (*activation function*), dan keluaran (*output*). Hal ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.5 Model Artificial Neural Network

Informasi (*input*) akan dikirim ke *neuron* dengan bobot tertentu. *Input* ini akan diproses oleh suatu fungsi yang akan menjumlahkan nilai-nilai bobot yang ada. Misalkan x_1, x_2, \dots, x_p adalah unit-unit input dan $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{kp}$ adalah bobot penghubung dari unit-unit input ke unit keluaran V_k , maka unit penjumlah akan memberikan keluaran sebesar :

$$u_k = x_1 w_{k1} + x_2 w_{k12} + \dots + x_n w_{kn} \quad (2.17)$$

Hasil penjumlahan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui fungsi aktivasi setiap *neuron*. Apabila *input* tersebut melewati suatu nilai ambang tertentu, maka *neuron* tersebut akan diaktifkan, jika tidak, maka *neuron* tidak akan diaktifkan. Apabila *neuron* itu diaktifkan, maka *neuron* tersebut akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot *outputnya* ke semua *neuron* yang berhubungan dengan ANN nya. *Output neuron* (V_k) dapat ditulis sebagai berikut:

$$v_k = \int (u_k) \quad (2.18)$$

2.6.2 Prinsip kerja ANN

Setiap input dan *output* yang diberikan ke dalam ANN diproses dalam *neuron*. *Neuron*-*neuron* tersebut terkumpul di dalam lapisan yang disebut *neuron layers*. Lapisan-lapisan penyusun ANN tersebut dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Lapisan *Input*

Lapisan *input* adalah lapisan yang terdiri dari unit-unit (*neuron*) *input* yang langsung menerima sinyal *input* dari luar dan mengirimkan informasi (*input*) yang diterima ke setiap *neuron* yang ada pada lapisan tersembunyi di atasnya melalui bobot-bobot yang menghubungkan lapisan *input* dengan lapisan tersembunyi tersebut.

2. Lapisan Tersembunyi

Lapisan tersembunyi (*hidden layer*) adalah lapisan yang terdiri dari unit-unit (*neuron*) tersembunyi yang terletak antara lapisan *input* dan lapisan *output* dimana *output*nya tidak dapat secara langsung diamati. Penambahan lapisan tersembunyi ini dapat meningkatkan kemampuan jaringan dalam pengenalan pola.

3. Lapisan *Output*

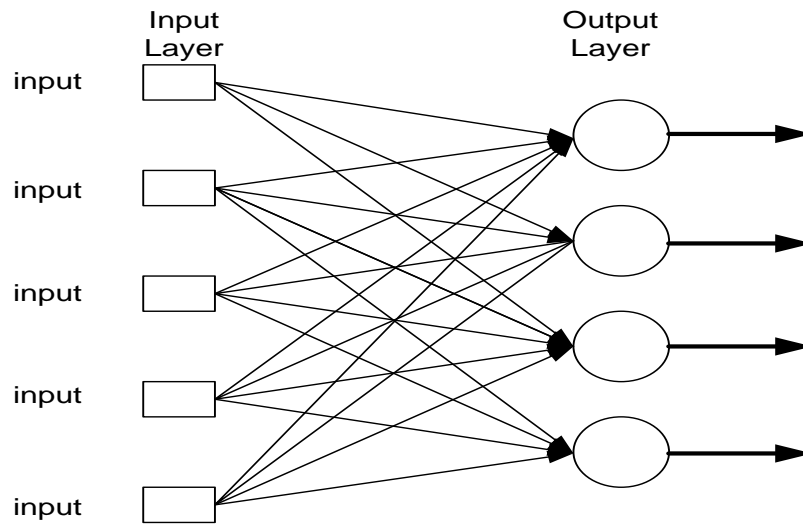
Lapisan *output* adalah lapisan yang terdiri dari unit-unit (*neuron*) *output* dimana keluaran dari lapisan *output* ini merupakan solusi ANN terhadap suatu permasalahan.

2.6.3 Arsitektur ANN

ANN memiliki beberapa arsitektur jaringan yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi. Adapun jenis arsitektur ANN tersebut, antara lain:

1. Jaringan lapis tunggal

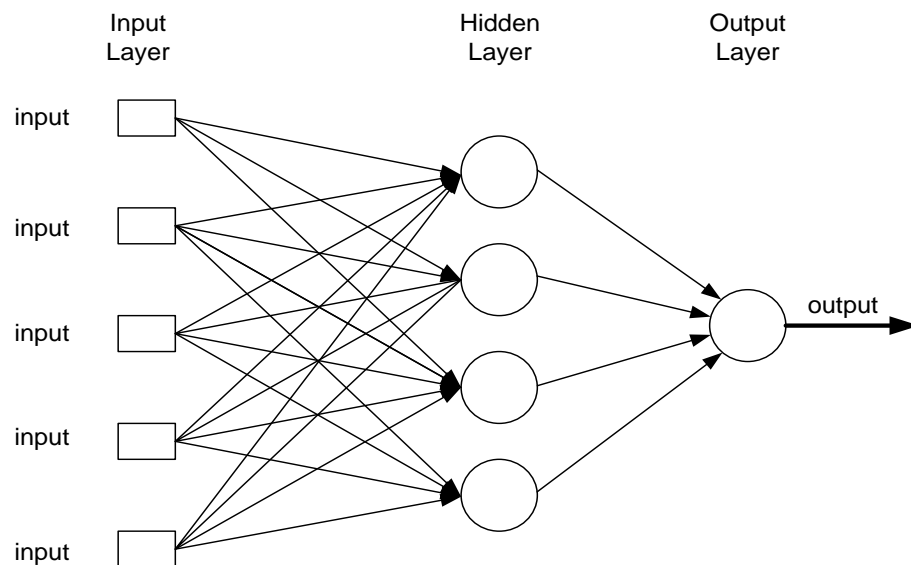
Jaringan lapisan tunggal (*single layer network*) terdiri dari 1 lapisan *input* dan 1 lapisan *output*. Jaringan ini hanya menerima *input* kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi *output* tanpa harus melalui lapisan tersembunyi.



Gambar 2.6 Jaringan Lapis Tunggal

2. Jaringan lapis jamak

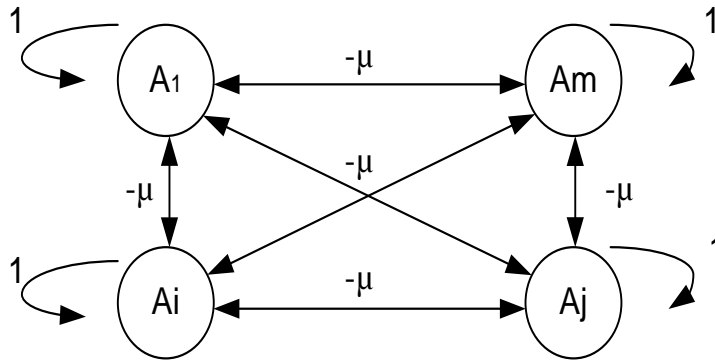
Jaringan lapisan jamak (*multi layer network*) memiliki tiga lapisan, yaitu: lapis *input*, lapis tersembunyi, dan lapis *output*. Jaringan dengan banyak lapisan ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih kompleks dibandingkan jaringan lapisan tunggal tetapi proses pelatihan sering membutuhkan waktu yang cenderung lama.



Gambar 2.7 Arsitektur Lapis Jamak

3. Jaringan lapis kompetitif

Pada jaringan lapis kompetitif (*competitive layer network*) sekumpulan *neuron* bersaing untuk mendapatkan hak menjadi aktif.



Gambar 2.8 Arsitektur Lapis Kompetitif

2.7 Metode Pembelajaran ANN

Proses pembelajaran dilakukan untuk mengetahui hubungan *input/output*. Ada dua tipe pembelajaran yang dikenal yaitu [17]:

1. *Supervised learning*

Supervised learning merupakan pola yang diberikan ke dalam ANN yang telah diketahui *output*nya. Selisih antara pola *output* yang dihasilkan dengan pola *output* yang diinginkan disebut *error*, yang digunakan untuk mengoreksi bobot ANN sehingga ANN mampu menghasilkan *output* sedekat mungkin dengan pola target.

2. *Unsupervised learning*

Unsupervised learning adalah pola tidak memerlukan target *output*. Pada metode ini tidak dapat ditentukan hasil seperti apakah yang diharapkan selama proses pembelajaran. Pembelajaran ini biasanya sangat cocok untuk klasifikasi pola.

2.8 Fungsi Aktivasi

Dalam *ANN*, fungsi aktivasi digunakan untuk menentukan keluaran suatu *neuron*. Fungsi *aktivasi* adalah net masukan atau kombinasi linier masukan dan bobotnya [19, 20].

Jika :

$$net = \sum x_i w_t \quad (2.19)$$

Maka fungsi *aktivasi*nya adalah:

$$f(net) = f(\sum x_i w_t) \quad (2.20)$$

Beberapa *fungsi* aktivasi yang digunakan adalah:

1. Fungsi *threshold*

$$f(x) = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \dots & x \geq a \\ 0 & \dots & \dots & x \leq a \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Fungsi *threshold* pada persamaan (2.7) merupakan fungsi *threshold* biner. Untuk kasus bilangan bipolar, maka angka 0 diganti dengan angka -1. Sehingga persamaan (2.21) diubah menjadi:

$$f(x) = \begin{bmatrix} 1 & \dots & \dots & x \geq a \\ -1 & \dots & \dots & x \leq a \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

2. Fungsi *sigmoid*

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.23)$$

Fungsi ini sering digunakan karena nilai fungsinya yang sangat mudah untuk didiferensialkan.

$$f'(x) = f(x)(1 - f(x)) \quad (2.24)$$

3. Fungsi *identity*

$$f(x) = x \quad (2.25)$$

Fungsi ini digunakan jika keluaran yang dihasilkan oleh *ANN* merupakan sembarang bilangan riil (bukan hanya pada kisaran) [0,1] atau [1,-1].

2.9 Lavenberg-Marquardt Algorithm

Algoritma Levenberg-Marquardt merupakan pengembangan algoritma backpropagation standar. Pada algoritma *backpropagation*, proses *update* bobot dan bias menggunakan *negative gradient descent* secara langsung sedangkan. Metode ini memiliki konvergensi yang cepat [19]. *Algoritma Levenberg-*

Marquardt menggunakan pendekatan matrik Hessian (H) yang dapat dihitung dengan,

$$H = J^T J \quad (2.26)$$

sedangkan gradient dapat dihitung dengan,

$$g = J^T e \quad (2.27)$$

Dalam hal ini J merupakan sebuah matrik jacobian yang berisikan turunan pertama dari *error* jaringan terhadap bobot dan bias jaringan. Perubahan pembobot dapat dihitung dengan,

$$\Delta x = [J^T J + \mu I] - J^T e \quad (2.28)$$

e adalah vector yang menyatakan semua *error* pada output jaringan, μ adalah konstanta learning, dan I adalah matrik identitas.

sehingga perbaikan pembobot dapat ditentukan dengan

$$x = x + \Delta x \quad (2.29)$$

$$x = \Delta x + [J^T J + \mu I] - J^T e \quad (2.30)$$

Dimana x adalah fungsi bobot-bobot jaringan dan bias

$$x = [v_{11}, v_{12}, \dots, v_{ij}; v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0j}; w_{11}, w_{12}, \dots, w_{jk}; w_{01}, w_{02}, \dots, w_{0k}]$$

$$e = [t_1 - y_1, t_2 - y_2, \dots, t_n - y_n]$$

2.9.1 Pelatihan

Pada tahapan pelatihan, langkah-langkah yang dilakukan untuk perhitungan *lavenberg marquath* adalah sebagai berikut:

- Inisialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil.
- Menghitung semua keluaran di unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$).

$$Z_{net_j} = V_{j0} + \sum_{i=1}^n X_i V_{ji} \quad (2.31)$$

$$Z_j = \int (Z_{net_j}) = \frac{1}{1 + e^{-Z_{net_j}}}$$

Menghitung *semua* keluaran jaringan di unit keluaran y_k ($k = 1, 2, \dots, m$).

$$y_{net_j} = w_{k0} + \sum_{j=1}^n Z_j w_{kj} \quad (2.32)$$

$$y_k = \int (y_{net_k}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{net_k}}}$$

Mengitung faktor δ unit keluaran berdasarkan error di setiap unit keluaran y_k ($k = 1, 2, \dots, m$).

$$\delta_k = (t_k - y_k) \int (y_{net_k}) - (t_k - y_k)y_k(1 - y_k) \quad (2.33)$$

dengan

tk: target keluaran

δ : unit *error* yang akan dipakai dalam perubahan bobot layer dibawahnya.

Untuk menghitung perubahan bobot w_{kj} dengan laju pemahaman, persamaannya: $\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j$

$$(2.34)$$

dengan $k = 1, 2, \dots, m$; $j = 0, 1, \dots, p$

- c. Menghitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan *error* di setiap unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$).

$$\delta_{net_j} = \sum_{i=1}^m \delta_i w_{kj} \quad (2.35)$$

Faktor δ unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_{net_j} \int (Z_{net_j}) = \delta_{net_j} z_j (1 - z_j) \quad (2.36)$$

Hitung suku perubahan bobot v_{ji} :

$$\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i \quad (2.37)$$

dengan $j = 1, 2, \dots, p$; $i = 1, 2, \dots, n$

- d. Menghitung semua perubahan bobot. Perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran, yaitu:

$$W_{kj}(\text{baru}) = W_{kj}(\text{lama}) + \Delta W_{kj} \quad (2.38)$$

dengan $k = 1, 2, \dots, m$; $j = 0, 1, \dots, p$

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit tersembunyi, yaitu:

$$V_{ji}(\text{baru}) = V_{ji}(\text{lama}) + \Delta V_{ji}$$

dengan $j = 1, 2, \dots, p$; $i = 0, 1, \dots, n$

Parameter α merupakan laju pemahaman yang menentukan kecepatan iterasi. Nilai α terletak antara 0 dan 1 ($0 \leq \alpha \leq 1$). Semakin besar harga α semakin sedikit iterasi yang dipakai. Akan tetapi jika harga α terlalu besar, maka akan merusak pola yang sudah benar sehingga pemahaman menjadi lambat. Satu siklus pelatihan yang melibatkan semua pola disebut *epoch*. Pemilihan bobot awal sangat mempengaruhi kecepatan menuju konvergen. Biasanya bobot awal diinisialisasi

secara acak dengan nilai antara -0.5 sampai 0.5 atau -1 sampai 1 atau interval yang lainnya.

2.9.2 Pengujian ANN

Setelah tahapan pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah model arsitektur jaringan saraf tiruan yang telah dibangun dapat memberikan hasil peramalan kecepatan angin yang akurat. Hasil peramalan dikatakan baik apabila nilai peramalan mendekati nilai aktual (*error* seminimal mungkin).

2.10 Payback Period

Payback period merupakan salah satu metode perhitungan yang digunakan untuk menganalisa kelayakan investasi pada suatu unit usaha. Kelayakan itu dinilai berdasarkan pada lamanya perioda pengembalian modal investasi tersebut. Komponen untuk dapat mengetahui nilai *payback period* adalah aliran kas (*cash flow*). Semakin pendek jangka waktu pengembalian modal investasi tersebut maka semakin baik [21].

Apabila arus kas masuk dari proyek investasi sama setiap tahun, maka durasi waktu yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Initial Investment}}{\text{Cash Flow}} \times 1 \text{ tahun} \quad (2.39)$$

Jika arus kas masuk dari proyek investasi berbeda setiap tahun, maka durasi waktu dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\text{Payback Period} = n + \frac{a-b}{c-b} \times 1 \text{ tahun} \quad (2.19)$$

Dimana:

- n = tahun terakhir dimana arus kas masuk masih belum bisa menutupi investasi awal
- a = jumlah investasi awal
- b = jumlah arus kas masuk kumulatif pada tahun ke-n
- c = jumlah arus kas masuk kumulatif pada tahun ke – (n+1)

2.11 Observasi

Teknik observasi merupakan metode mengumpulkan data dengan mengamati langsung di lapangan. Proses ini berlangsung dengan pengamatan yang meliputi melihat, merekam, menghitung, mengukur, dan mencatat kejadian.

Survei atau observasi bertujuan untuk mendapatkan data tentang suatu masalah, sehingga diperoleh pemahaman maupun pembuktian terhadap informasi yang diperoleh sebelumnya. Sebagai metode ilmiah observasi biasa diartikan sebagai pengamatan dan pencatatan fenomena-fenomena yang diselidiki secara sistematis [22] .

2.12 Emisi

Emisi adalah zat, energi dan atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan atau dimasukkannya ke dalam udara ambient yang mempunyai potensi sebagai unsur pencemar [23]. Emisi karbon CO₂ disebabkan oleh pembakaran berdampak terhadap peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi atau disebut pemanasan global [24]. Satuan emisi umumnya berupa kg/tahun, m/hari atau satuan massa atau volume/satuan waktu.

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang mampu mereduksi emisi. Hal ini disebabkan karena pembangkit ini tidak menggunakan bahan bakar. Jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan dapat dituliskan sebagai persamaan:

$$E_{CO_2} = A \times FE \quad (2.41)$$

Dimana:

E_{CO_2} = emisi CO₂

A = data aktifitas (kWh listrik, liter minyak tanah, dsb)

FE = faktor emisi (kg CO₂/kWh, kg CO₂/liter minyak tanah, dsb)

2.13 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Metode analytic hierarchy proses (AHP) merupakan salah satu metode perbandingan berpasangan yang banyak digunakan untuk pengambilan keputusan dalam permasalahan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM). AHP dirancang

untuk membantu pengambil keputusan dalam menggabungkan faktor kualitatif dan faktor kuantitatif pada suatu permasalahan yang kompleks. Proses pengambilan keputusan dilakukan dengan menyusun struktur hirarki masalah mulai dari yang paling atas yang disebut *goal* atau target kemudian di level bawahnya disebut variabel kriteria dan selanjutnya diikuti oleh variabel alternatif. Pengambil keputusan, selanjutnya memberikan penilaian numerik berdasarkan pertimbangan subjektifitas terhadap variabel-variabel yang ada untuk menentukan tingkatan prioritas masing-masing variabel tersebut.

Secara umum, terdapat dua prinsip dasar yang dimiliki oleh *AHP* dalam menyelesaikan suatu permasalahan, yaitu [25] : *decomposisi dan comparative judgment*.

Decomposisi merupakan memecah persoalan-persoalan yang utuh menjadi unsur-unsurnya. Jika ingin mendapat hasil yang akurat, pemecahan dilakukan terhadap unsur-unsurnya sampai tidak mungkin dilakukan pemecahan *detail* sehingga mendapatkan beberapa tingkatan dari persoalan yang ada.

Comparative Judgment adalah membuat penilaian kepentingan relatif dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkat yang di atasnya. Penilaian ini merupakan inti dari metode *AHP* karena berpengaruh terhadap elemen-elemen prioritas. Hasil dari penilaian disajikan dalam matriks yang disebut matriks *pairwise comparison*.

2.13.1 Langkah-Langkah *AHP*

Dalam menyelesaikan permasalahan *AHP*, beberapa langkah yang harus dilakukan adalah:

Membentuk matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap masing-masing tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya. Perbandingan dilakukan berdasarkan pilihan atau *judgment* dari pembuat keputusan dengan menilai tingkat-tingkat kepentingan suatu elemen dibandingkan elemen lainnya. Menormalkan data yaitu dengan membagi nilai dari setiap elemen di dalam matriks yang berpasangan dengan nilai total dari setiap kolom.

Menghitung nilai *eigen vector* dan menguji konsistensinya, jika tidak konsisten pengambil data maka akan diulangi. Nilai *eigen vector* yang dimaksud adalah nilai *eigen vector* maximum yang diperoleh dengan menggunakan *matlab* maupun manual.

Menguji konsistensi hirarki. Jika tidak memenuhi dengan $CR < 0,10$ maka penilaian harus diulang kembali.

Tabel 2.2 Skala nilai AHP dari L Saaty [25]

Tingkat Kepentingan	Definisi
1	Sama pentingnya dibanding yang lain
3	Moderat pentingnya dibanding yang lain
5	Kuat pentingnya dibanding yang lain
7	Sangat kuat pentingnya dibanding yang lain
9	Ekstrem pentingnya dibanding yang lain
2,4,6,8	Nilai di antara dua penilaian yang berdekatan

2.14 Fuzzy Analytic Hierarchy Procces (F-AHP)

Fuzzy Analytic Hierarchy Procces (F-AHP) merupakan sebuah metode yang dikembangkan untuk menutupi kelemahan pada *AHP* seperti permasalahan terhadap kriteria yang memiliki sifat subjektif [26]. Metode tersebut sudah semakin bagus dalam menyelesaikan persoalan-persoalan besar dan rumit. *F-AHP* memiliki tingkatan akurasi yang tinggi untuk pengambil keputusan dibandingkan dengan metode lain dalam mengatasi masalah *Multi Criteria Decision Making*.

Dalam pendekatan *F-AHP* digunakan *Triangular Fuzzy Number (TFN)* atau bilangan *fuzzy* segitiga (BFS) untuk proses *fuzzifikasi* dari matriks perbandingan yang bersifat *crisp*. Data yang kabur akan dipresentasikan dalam *TFN*.

Setiap fungsi keanggotaan didefinisikan dalam tiga parameter yakni, l , m , dan u , dimana l adalah nilai kemungkinan terendah, m adalah nilai kemungkinan tengah dan u adalah nilai kemungkinan teratas pada interval putusan pengambil keputusan. Nilai l , m , dan u dapat juga ditentukan oleh pengambil keputusan itu

sendiri, ini mengajukan tiga parameter bilangan *fuzzy* untuk merepresentasikan skala Saaty (1-9) sesuai dengan tingkat kepentingannya.

Bilangan *TFN* dapat menunjukkan kesubjektifan perbandingan berpasangan atau dapat menunjukkan derajat yang pasti dari kekaburan (ketidakpastian). Dalam hal ini *variable linguistik* dapat digunakan oleh pengambil keputusan untuk merepresentasikan kekaburan data seandainya ada ketidaknyamanan dengan *TFN*.

Tabel 2.3 Skala Nilai Triangular Fuzzy Number [5]

Intensitas Kepentingan <i>AHP</i>	Himpunan Linguistik	<i>Triangular Fuzzy Number (TFN)</i>	<i>Reciprocal (Kebalikan)</i>
1	Perbandingan elemen yang sama (<i>Just Equal</i>)	(1, 1, 1) Jika diagonal, (1, 1, 3) jika tidak diagonal	(1, 1, 1) Jika diagonal, (1/3, 1, 1), jika tidak diagonal
2	Pertengahan (<i>Intermediate</i>)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
3	Elemen satu cukup penting dari yang lainnya (<i>moderately important</i>)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
4	Pertengahan (<i>Intermediate</i>) elemen satu lebih cukup penting dari yang lainnya)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
5	Elemen satu kuat pentingnya dari yang lain (<i>Strongly Important</i>)	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
6	Pertengahan (<i>Intermediate</i>)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
7	Elemen satu lebih kuat pentingnya dari yang lain (<i>Very Strong</i>)	(3, 7/2, 4)	(1/4, 2/7, 1/3)
8	Pertengahan (<i>Intermediate</i>)	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)
9	Elemen satu mutlak lebih penting dari yang lainnya (<i>Extremely Strong</i>)	(4, 9/2, 9/2)	(2/9, 2/9, 1/4)

2.14.1 Langkah-langkah *F-AHP*

Ada beberapa prinsip dasar yang harus dilakukan dalam menyelesaikan persoalan menggunakan metode *F-AHP* [25], yaitu:

1. Membuat struktur hirarki masalah yang akan diselesaikan dan menentukan perbandingan matriks berpasangan antar kriteria dengan skala *TFN*.
2. Menentukan nilai sintesis *fuzzy* (S_i) prioritas dengan rumus:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_i^j \times \frac{1}{\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_i^j} \quad (2.42)$$

sedangkan

$$\frac{1}{\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_i^j} = \sum_{j=1}^m u_i, \quad \sum_{j=1}^m m_i, \quad \sum_{j=1}^m l_i$$

dimana:

M = objek (kriteria, subkriteria, atau alternatif),

i = baris ke- i ,

j = kolom ke- j ,

l = nilai *lower*,

m = nilai *medium*,

u = nilai *upper*

3. Menentukan nilai vektor (V) dan nilai ordinat defuzzifikasi (d') dengan menggunakan aturan seperti pada rumus dibawah ini:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{m_2 - u_2 - m_1 - l_1} & \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (2.43)$$

Jika hasil nilai *fuzzy* lebih besar dari k , M_i , ($i=1,2,,k$) maka nilai vektor dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$V(M \geq M1, M2, \dots, Mk) = V(M \geq M1) \text{ dan } V(M \geq M2) \text{ dan } V(M \geq Mk) = \min V(M \geq M_i)$$

asumsikan bahwa

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (2.44)$$

untuk $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$, maka diperoleh nilai bobot vektor

$$W' = (d'(A1), d'(A2), \dots, d'(An))^T \quad (2.45)$$

dimana:

$Ai = 1, 2, \dots, n$ adalah vektor *fuzzy* (w)

4. Normalisasi nilai bobot vektor *fuzzy* (w)

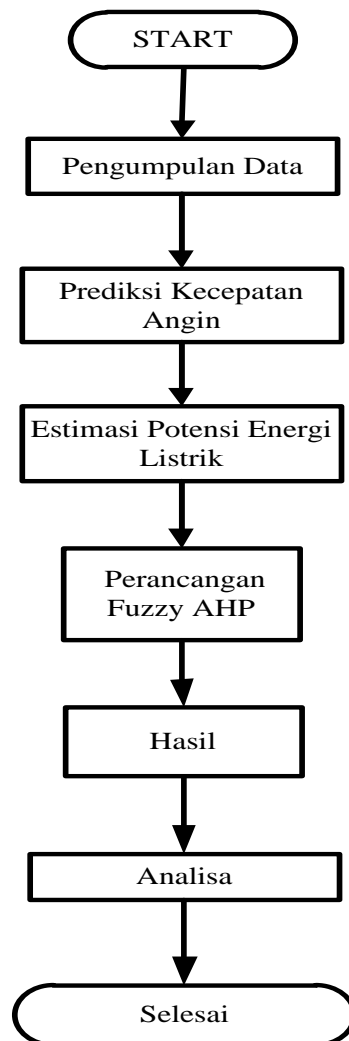
Setelah dilakukan normalisasi dari persamaan (2.45) maka nilai bobot vektor yang ternormalisasi adalah seperti rumus berikut:

$$w = (d(A1), d(A2), \dots, d(An))^T \quad (2.46)$$

BAB 3

PEMILIHAN LOKASI *WIND FARM*

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi pengumpulan data, prediksi kecepatan angin dengan menggunakan *backpropagation neural network*, estimasi potensi energi listrik berdasarkan hasil prediksi kecepatan angin dan perancangan *fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP)* untuk pemilihan lokasi *wind farm*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan data kecepatan angin, arah angin, kelembapan, dan suhu melalui pengukuran secara langsung menggunakan AWS (*automatic weather station*). Selain itu juga dilakukan pengumpulan data mengenai biaya investasi *windfarm*, kebutuhan daya listrik, volume emisi, akses grid dengan setiap alternatif lokasi, akses jalan dengan setiap alternatif lokasi, jarak pemukiman warga dengan setiap alternatif lokasi, berdasarkan perhitungan studi lapangan dan pustaka. Pengumpulan data dilakukan pada beberapa lokasi di Kabupaten Nganjuk.

3.1.1 Pengukuran

Pengukuran kecepatan angin, arah angin, tekanan, suhu dan kelembapan dilakukan selama bulan April hingga Nopember 2015 di Sukomoro, Rejoso, Pace, Nganjuk dan Lengkong. Waktu perekaman selama 3 detik untuk setiap data dengan ketinggian pengukuran sebesar 8m. Gambar 3.2 menunjukkan proses pengukuran data dengan AWS. Data pengukuran yang diperoleh akan digunakan untuk masukan prediksi kecepatan angin dengan menggunakan *backpropogation neural network*.



Gambar 3.2 Proses Pengukuran data dengan AWS pada Setiap Alternatif Lokasi

3.1.2 Kebutuhan Beban Listrik

Kebutuhan beban listrik ditentukan berdasarkan kebutuhan masyarakat untuk mengoperasikan pompa air dengan menggunakan mesin diesel. Saat ini untuk mengairi sawah seluas 2500 m² dibutuhkan pompa air dengan daya sebesar 8.8 kW yang beroperasi selama 9 jam/hari. Pengoperasian pompa air dilakukan selama tiga bulan dalam setahun karena pompa tersebut hanya digunakan untuk mengairi sawah pada musim kemarau sedangkan di musim hujan tidak membutuhkan pengairan dari pompa. Spesifikasi beban daya listrik ditunjukkan pada tabel 3.1. Berdasarkan spesifikasi tersebut energi yang dibutuhkan untuk pengoperasian pompa dalam sehari dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Energi/hari} = \text{Daya beban} \times \text{waktu operasional} \quad 3.1$$

Dengan operasional 9 jam/hari maka energi yang dibutuhkan sebesar 79.42 kWh. Oleh karena itu kebutuhan energi satu tahun untuk mengoperasikan pompa tersebut adalah 7148.4 kWh.

Tabel 3.1 Spesifikasi Beban Daya Listrik

Uraian	Satuan	Jumlah
Mesin Pompa Air Merk Yanmar TF 155 R 12 PK (11.83HP)	kW	8.8
Operasional	Jam/Hari	9
Energi Listrik	kWh/Hari	79.42
Energi Listrik	kWh/Tahun	7148.4

3.1.3 Biaya Investasi *Wind Farm*

Biaya investasi merupakan salah satu faktor yang digunakan untuk menentukan lokasi *wind farm*. Perhitungan biaya investasi berdasarkan data dari studi lapangan dan studi pustaka. Biaya investasi meliputi biaya peralatan dan biaya perawatan. Biaya peralatan ditentukan berdasarkan kebutuhan daya listrik dan daya yang dihasilkan turbin angin pada setiap lokasi. Kebutuhan biaya peralatan dan biaya perawatan ditunjukkan pada tabel 3.2. Kebutuhan biaya peralatan dan perawatan untuk pemasangan 1 unit turbin angin adalah Rp 22.775.500.

Perhitungan *payback periode* dilakukan dengan dua model. Model pertama dengan memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin untuk menyuplai kebutuhan beban, selebihnya dijual langsung ke PLN. Model kedua dengan memanfaatkan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin dijual langsung ke PLN.

Tabel 3.2 Kebutuhan Biaya Peralatan dan Perawatan

Uraian	Harga Satuan (Rp)
Biaya pembelian turbin angin TSD 500	10.500.000
Biaya menara	1.350000
Biaya pemasangan	1.150.000
Biaya lahan@meter	325. 000

Kelayakan suatu investasi ditentukan berdasarkan hasil durasi pengembalian modal dan keuntungan yang diperoleh *payback periode (PP)*. Hasil *PP* dapat dihitung dengan persamaan:

$$PP = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Cash Flow}} \times 1 \text{ tahun} \quad (3.2)$$

Hasil perhitungan *PP* ini menjadi acuan ketika dilakukan pemberian nilai level kepentingan saat melakukan perbandingan berpasangan antar elemen alternatif lokasi.

3.1.4 Emisi

Emisi merupakan zat kimia yang dapat mengganggu kehidupan lingkungan. Pembangunan pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) merupakan salah satu cara dalam mereduksi emisi. Pengurangan volume emisi dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah energi yang dibangkitkan oleh PLTB dan pembangkit

listrik tenaga diesel. Volume emisi CO₂ yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_{CO_2} = A \times F_E \quad (3.3)$$

Dimana:

E_{CO_2} = emisi CO₂

A = data aktifitas (kWh listrik, liter minyak tanah, dsb)

F_E = Faktor Emisi (kg CO₂/kWh, kg CO₂/liter minyak tanah, dsb)

Volume reduksi emisi yang dihasilkan PLTB menjadi acuan untuk pemberian nilai level kepentingan ketika melakukan perbandingan berpasangan antar elemen alternatif lokasi.

3.1.5 Akses Grid

Akses grid adalah jarak jaringan listrik yang sudah terpasang dengan alternatif lokasi pembangunan *wind farm*. Akses grid merupakan salah satu faktor yang digunakan untuk melihat efisiensi biaya dalam menentukan lokasi *wind farm* [5]. Efisiensi dinilai berdasarkan kedekatan jarak akses grid terhadap lokasi yang diusulkan, semakin dekat faktor tersebut maka semakin besar biaya yang dikurangi. Penentuan akses grid pada setiap lokasi dilakukan berdasarkan studi lapangan. Tabel 3.3 menunjukkan akses grid terhadap alternatif lokasi pemasangan *wind farm*.

Tabel 3.3 Jarak Akses Grid terhadap Alternatif Lokasi

Uraian	Jarak (m)
Sukomoro	200
Rejoso	300
P a c e	500
Nganjuk	90
Lengkong	350

Hasil pengukuran selanjutnya dijadikan acuan untuk pemberian nilai level kepentingan ketika melakukan perbandingan berpasangan antar elemen alternatif lokasi.

3.1.6 Akses Jalan Utama

Akses jalan utama merupakan salah faktor yang dapat mengurangi biaya transportasi untuk instalasi dan pemeliharaan fasilitas turbin angin pada setiap lokasi [6]. Faktor tersebut dinilai berdasarkan kedekatan dengan setiap alternatif lokasi yang diusulkan, semakin dekat akses jalan utama maka semakin besar biaya yang dikurangi. Penentuan akses jalan pada setiap lokasi dilakukan berdasarkan studi lapangan. Tabel 3.4 menunjukkan kedekatan akses jalan terhadap alternatif lokasi pemasangan *wind farm*.

Tabel 3.4 Jarak Akses Jalan terhadap Alternatif Lokasi

Uraian	Jarak (m)
Sukomoro	50
Rejoso	250
P a c e	150
Nganjuk	70
Lengkong	50

Hasil pengukuran selanjutnya dijadikan acuan untuk pemberian nilai level kepentingan ketika melakukan perbandingan berpasangan antar elemen alternatif lokasi.

3.1.7 Jarak Pemukiman Warga

Jarak pemukiman merupakan salah satu faktor yang digunakan untuk mereduksi gangguan *noise*, *visual* dan *electromagnetic interference* terhadap masyarakat dalam menentukan *wind farm*. Gangguan dipengaruhi oleh suara derau dan bayangan dari putaran baling-baling turbin angin serta radiasi dari aliran arus pada kabel yang terpasang di setiap alternatif lokasi yang diusulkan [9,10].

Menurut Tegou LI, dkk [11], kedekatan lokasi *wind farm* dengan pemukiman akan menyebabkan gangguan psikologis dan kesehatan masyarakat. Jarak pemukiman dengan lokasi pembangunan *wind farm* minimal adalah 150 m [12].

Penentuan jarak pemukiman pada setiap lokasi dilakukan berdasarkan studi lapangan. Tabel 3.5 menunjukkan jarak pemukiman terhadap alternatif lokasi pemasangan *wind farm*.

Tabel 3.5 Jarak Pemukiman terhadap Alternatif Lokasi

Uraian	Jarak (m)
Sukomoro	170
Rejoso	350
P a c e	90
Nganjuk	250
Lengkong	150

Hasil pengukuran selanjutnya dijadikan acuan untuk pemberian nilai level kepentingan ketika melakukan perbandingan berpasangan antar elemen alternatif lokasi.

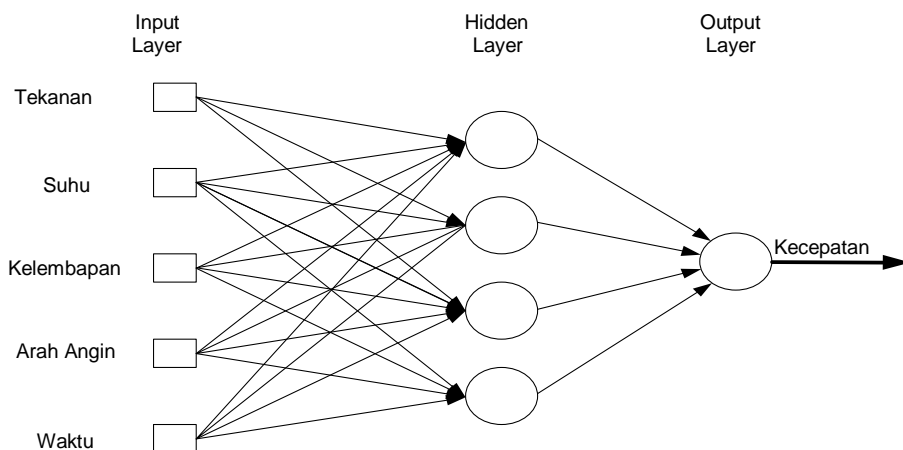
3.2 Prediksi Kecepatan Angin

Prediksi kecepatan angin bertujuan untuk mengetahui besaran potensi kecepatan angin yang akan dihasilkan selama tiga bulan ke depan. Hasil prediksi itu digunakan untuk estimasi potensi energi listrik pada setiap lokasi yang ditentukan.

Data yang digunakan dalam prediksi kecepatan ini adalah arah angin, kelembapan, suhu, tekanan dan kecepatan angin. Data tersebut didapatkan dari hasil pengukuran dengan memasang *automatic weather station* di Sukomoro, Lengkong, Rejoso, Nganjuk dan Pace. Data direkam dalam satuan meter/detik.

Setelah data direkam, kemudian dilakukan perhitungan rata-rata perbulan dan rata-rata harian. Data kecepatan angin rata-rata harian itu, selanjutnya dijadikan masukan prediksi kecepatan angin untuk mengestimasi daya yang dihasilkan.

Dalam proses prediksi kecepatan angin ini, metode yang digunakan adalah *BPNN* [16]. Langkah utama yang dilakukan dalam proses ini adalah membangun struktur jaringan seperti terlihat pada gambar 3.3. Dalam simulasi ini, struktur jaringan yang digunakan terdiri dari tiga lapisan. Lapisan pertama yaitu lapisan masukan dimana variabel yang digunakan sebanyak enam inputan, lapisan kedua adalah *hidden layer* (tersembunyi), dan lapisan ketiga adalah keluaran. Pada lapisan tersembunyi fungsi aktivasi yang digunakan adalah *tansig* sedangkan lapisan keluaran yaitu *purelin*.



Gambar 3.3 Struktur Neural Network untuk Peramalan Kecepatan Angin

Dalam prediksi ini, simulasi ini dilakukan berulang kali dan set parameter *learning rate* dan *hidden layer* bervariasi seperti terlihat pada tabel 3.6, ini bertujuan untuk melihat parameter yang memiliki berpengaruh dalam mendapatkan hasil optimal.

Proses simulasi *BPNN* terdiri dari tiga fase. Fase pertama adalah fase maju, pola masukan dihitung maju mulai dari masukan dengan menggunakan bobot awal yang diatur secara acak, selanjutnya diproses hingga ke output dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan sehingga menghasilkan nilai keluaran jaringan sementara. Nilai output tersebut kemudian dibandingkan dengan

target yang diinginkan, jika memiliki *error* yang besar maka dilakukan propagasi mundur pada fase kedua. Propagasi tersebut dimulai dari garis-garis berhubungan langsung dengan unit-unit di layer keluaran. Jika hasil propagasi ini belum mendapatkan hasil yang baik maka dilakukan fase ke tiga yaitu, modifikasi bobot. Modifikasi ini bertujuan untuk menurunkan kesalahan (galat) yang terjadi [15]. Jika tidak mampu mencapai target yang diinginkan maka proses perhitungan akan berhenti ketika jumlah iterasi sudah mencapai maksimal.

Tabel 3.6 Konfigurasi Jumlah Hidden Neuron, Learning Rate dan Iterasi pada Simulasi Prediksi Kecepatan Angin

Kondisi	Masukan	Jumlah <i>Hidden</i> Neuron	Learning rate	Iterasi
1	6	5	0.1 – 0.9	100-5000
2	6	10	0.1 – 0.9	100-5000
3	6	15	0.1 – 0.9	100-5000
4	6	20	0.1 – 0.9	100-5000
5	6	25	0.1 – 0.9	100-5000
6	6	50	0.1 – 0.9	100-5000
7	6	100	0.1 – 0.9	100-5000
8	6	200	0.1 – 0.9	100-5000
9	6	500	0.1 – 0.9	100-5000

3.3 Estimasi Produksi Energi Listrik

Estimasi produksi energi listrik merupakan salah satu faktor penting untuk untuk menghasilkan lokasi *wind farm* yang mampu memproduksi energi maksimal. Estimasi potensi energi listrik ditentukan berdasarkan hasil prediksi, spesifikasi sistem konversi energi angin (SKEA) seperti ditunjukkan pada tabel 3.7 dan kurva karakteristik seperti ditunjukkan pada gambar 2.3. Kecepatan angin tertinggi rata-rata tidak boleh melebihi kecepatan angin rata-rata (*rated*) sebesar 12 m/s, sehingga daya listrik yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.4.

Tabel 3.7 Spesifikasi Sistem Konversi Energi Angin [16]

Nama Sistem	TSD-500
Tipe Turbin	HAWT
Turbin mulai berputar	2,5 m/s
<i>Cut in</i>	3 m/s
<i>Cut out</i>	24 m/s
Daya Maksimum	2 Kw
<i>Efisiensi Generator</i>	90 persen
Coefisien Power	0.4
Diameter bilah	1 meter
Jumlah bilah	3 Bilah
Berat generator	25 kg
Tinggi tiang kincir angin	4 – 11 m
Perusahaan pembuat generator	<i>NIDEC Japan Corp</i>

Estimasi dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat ketersediaan setiap alternatif lokasi yang diusulkan untuk menutupi kebutuhan daya listrik sebesar 8.8 kW seperti ditunjukkan pada tabel 3.1. Kebutuhan tersebut dipengaruhi oleh pemasangan jumlah turbin angin pada setiap lokasi. Jumlah turbin yang dipasang pada beban yang digunakan. Jumlahn turbin angin yang digunakan ditunjukkan pada tabel tabel 3.8.

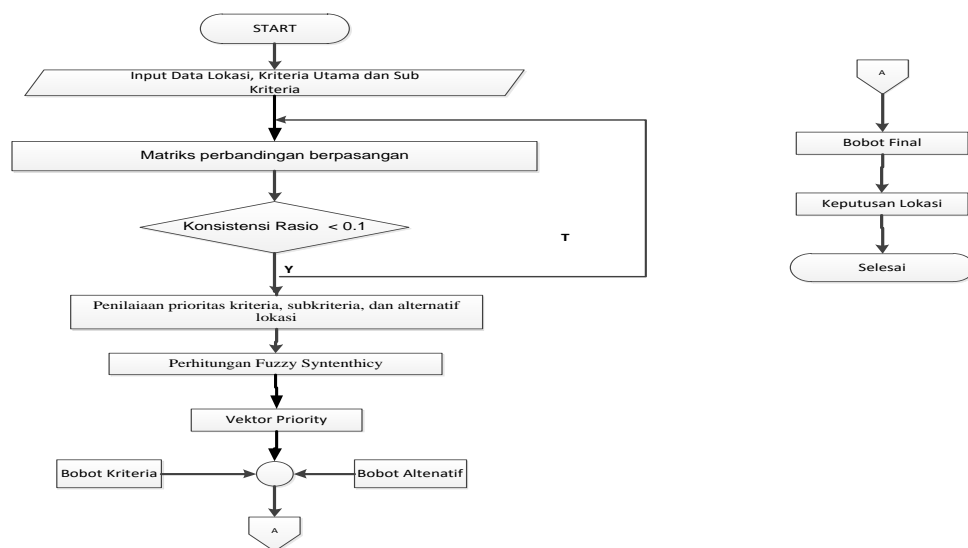
Tabel 3.8 Jumlah turbin turbin yang digunakan pada setiap Lokasi

Uraian	Jumlah Turbin
Sukomoro	11
Rejoso	11
P a c e	11
Nganjuk	11
Lengkong	11

Data hasil estimasi dan volume jumlah turbin angin dijadikan acuan untuk pemberian nilai level kepentingan saat melakukan perbandingan berpasangan antar elemen alternatif lokasi.

3.4 Perancangan *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*

Perancangan sistem *fuzzy ahp* dimulai dengan membangun struktur hirarki, perbandingan berpasangan, perhitungan bobot, dan pengambilan keputusan lokasi. Flowchart perancangan dapat dilihat ditunjukkan pada gambar



Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan *Fuzzy Analytic Hierarchy Process*

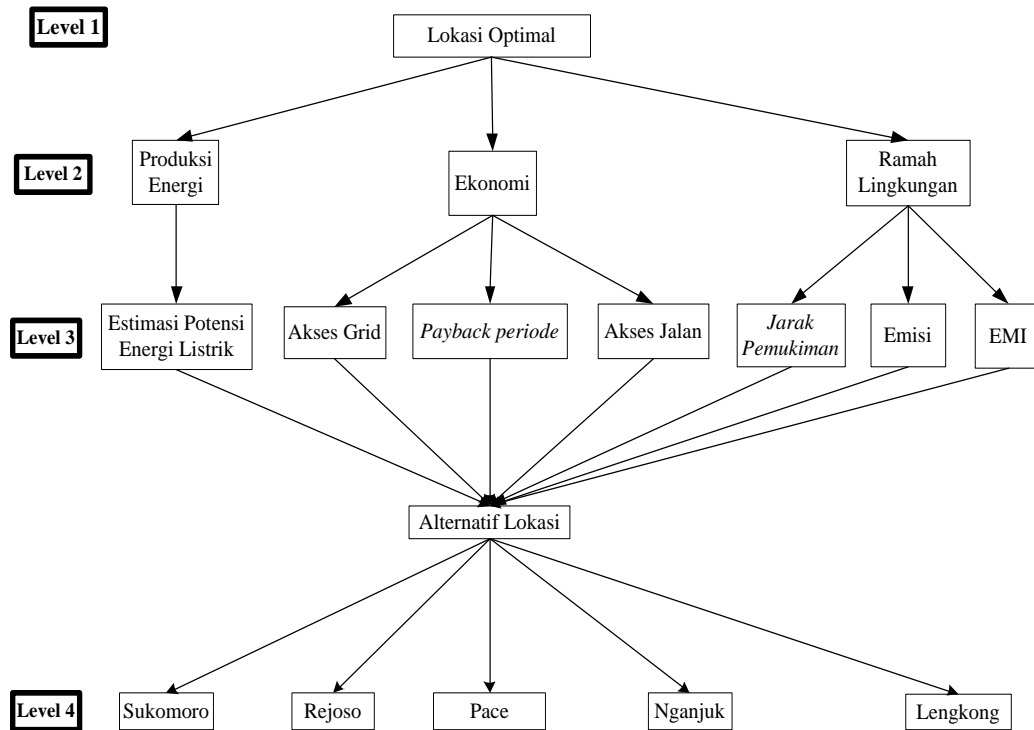
3.4.1 Membangun Struktur Hirarki

Struktur ini bertujuan untuk menguraikan permasalahan yang kompleks (multi kriteria) menjadi lebih detail atau sederhana atau kecil sehingga akan memudahkan dalam melakukan pengambilan keputusan yang tepat dan optimal [22].

Untuk memudahkan proses penentuan lokasi *wind farm* yang optimal dalam penelitian ini, maka permasalahan dipecahkan menjadi empat tingkatan hirarki yaitu tujuan, kriteria utama, subkriteria dan alternatif seperti terlihat pada gambar 3.5.

3.4.1.1 Hirarki Tujuan

Bagian teratas struktur hirarki adalah tujuan umum yang akan dicapai. Pada penelitian ini, tujuan utama hirarki adalah mendapatkan lokasi *wind farm* optimal.



Gambar 3.5 Hirarki Kriteria, Sub Kriteria dan Alternatif *F-AHP*

3.4.1.2 Hirarki Kriteria Utama

Tingkat pertama di bawah tujuan dalam sebuah struktur hirarki adalah kriteria utama. Penentuan jenis kriteria utama bergantung pada tujuan yang ingin dicapai. Dalam penelitian ini, tujuan hirarki adalah menentukan lokasi *wind farm* sehingga kriteria yang digunakan adalah kriteria utama yang dapat mendukung tercapainya tujuan tersebut. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya maka kriteria utama yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak tiga jenis dengan urutan prioritas terdiri dari potensi energi maksimal, ekonomis, dan ramah lingkungan [6,7,8,9,10,11,12,13,14,15].

3.4.1.3 Hirarki Sub Kriteria

Tingkat kedua di bawah tujuan dalam sebuah struktur hirarki adalah sub kriteria. Penentuan sub kriteria bertujuan untuk memecahkan masalah menjadi semakin mendetail sehingga mendapatkan lokasi *wind farm* yang optimal. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya didapatkan bahwa jumlah sub kriteria yang digunakan dalam penelitian ini adalah tujuh jenis dengan urutan prioritas yaitu, estimasi produksi energi listrik, *payback periode*, akses grid, akses jalan, *electromagnetic interference*, jarak pemukiman, dan emisi [6,7,8,9,10,11,12,13, 14,15].

3.4.1.4 Hirarki Alternatif

Alternatif merupakan pilihan-pilihan yang tersedia yang akan dinilai melalui sub kriteria untuk memperoleh lokasi yang ideal. Hasil ideal dilihat berdasarkan perolehan bobot tertinggi ketika dilakukan perbandingan berpasangan pada setiap lokasi. Dalam penelitian ini alternatif lokasi yang digunakan yaitu, Sukomoro, Rejoso, Lengkon, Nganjuk dan Pace. Alternatif ini diperoleh berdasarkan usulan dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Kabupaten Nganjuk.

3.4.2 Penilaian Level Kepentingan

Penilaian level kepentingan dalam penelitian ini dibagi dalam tiga tingkatan hirarki yaitu, kriteria utama, sub kriteria dan hirarki alternatif. Penilaian ini dilakukan dengan membandingkan level kepentingan secara berpasangan pada setiap hirarki. Penilaian level kepentingan menggunakan skala F-AHP seperti ditunjukkan pada tabel 2.3. Hasil perbandingan berpasangan pada setiap elemen selanjutnya dilakukan pengujian rasio konsistensi dimana syarat yang harus dipenuhi adalah perolehan nilai bobot harus dibawah 10 persen.

Penilaian level kepentingan pada kriteria utama dan sub kriteria digunakan untuk mendapatkan bobot prioritas. Bobot prioritas ini digunakan sebagai acuan dalam memprioritaskan perhitungan dan pengukuran.

Level kepentingan diperoleh dari hasil pengolahan nilai yang diberikan oleh *expert* dengan menggunakan range (5-9). Hasil penilaian *expert* terlampir pada halaman lampiran. Hasil penilaian selanjutnya dikonversikan ke dalam nilai L, M

dan U seperti ditunjukkan pada tabel 2.3. Hasil penilaian level kepentingan kriteria utama dan sub kriteria ditunjukkan pada tabel 3. 9 hingga tabel 3.11.

Tabel 3.9 Hasil Penilaian Level Kepentingan Kriteria Utama

Uraian	Produksi energi			Ekonomis			Ramah Lingkungan		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U
Produksi energi	1	1	1	1	1.5	2	1.5	2	2.5
Ekonomis	0.5	0.67	1	1	1	1	1	1.5	2
Ramah Lingkungan	0.4	0.5	0.67	0.5	0.67	1	1	1	1

Tabel 3.10 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Ekonomi

Uraian	Akses Grid			Akses Jalan			<i>Payback Periode</i>		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U
Akses Grid	1	1	1	1	1.5	2	0.5	1	1.5
Akses Jalan	0.5	0.67	1	1	1	1	0.67	1	2
<i>Payback Periode</i>	0.67	1	2	0.5	1	1.5	1	1	1

Tabel 3.11 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Lingkungan

Uraian	Jarak Pemukiman			<i>Electromagnetic Interference</i>			Emisi		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U
Jarak Pemukiman	1	1	1	1	1	1	2	2.5	3
<i>Electromagnetic Interference</i>	1	1	3	1	1	1	1	1.5	2
Emisi	0.33	0.4	0.5	0.5	0.67	1	1	1	1

3.4.3 Perhitungan Fuzzy Synthetic

Setelah menentukan penilaian level kepentingan, selanjutnya menghitung nilai *fuzzy synthetic* dengan menggunakan persamaan 3.4. Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh perluasan suatu object (kriteria, sub kriteria atau alternatif lokasi) sehingga menghasilkan *extent analysis*.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_i^j \times \frac{1}{\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^m M_i^j} \quad (3.4)$$

Setelah mendapatkan nilai *fuzzy*, langkah selanjutnya adalah proses perbandingan tingkat kemungkinan. Perbandingan tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai bobot pada masing-masing kriteria. Hasil perbandingan tingkat kemungkinan digunakan untuk perkiraan nilai bobot pada masing-masing object.

Tingkat kemungkinan untuk bilangan *fuzzy konveks* dapat diperoleh berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$(M_2 \geq M_1) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{jika } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{jika } l_1 \geq l_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{untuk alternatif lain} \end{array} \right\} \quad (3.5)$$

Tingkat kemungkinan untuk bilangan *fuzzy konveks* setiap *object* lebih baik dilihat berdasarkan perolehan nilai minimal. Nilai minimal tersebut dapat digambarkan *melalui* persamaan berikut.;

$$d^n(A_i) = \min V (M_i \geq M_k) \quad (3.6)$$

Nilai minimum dari hasil perbandingan pada masing masing object selanjutnya menjadi bobot vektor prioritas (*vektor priority*). Bobot vector tersebut definisikan dengan persamaan 3.7

$$w^n = (d^n(A_1), (d^n(A_2), (d^n(A_3), \dots (d^n(A_i)))^T \quad (3.7)$$

Nilai vektor bobot tersebut dinormalisasi dengan menggunakan persamaan:

$$W(A_i) = \frac{d'(A_i)}{\sum_{i=1}^n d'(A_i)} \quad (3.8)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

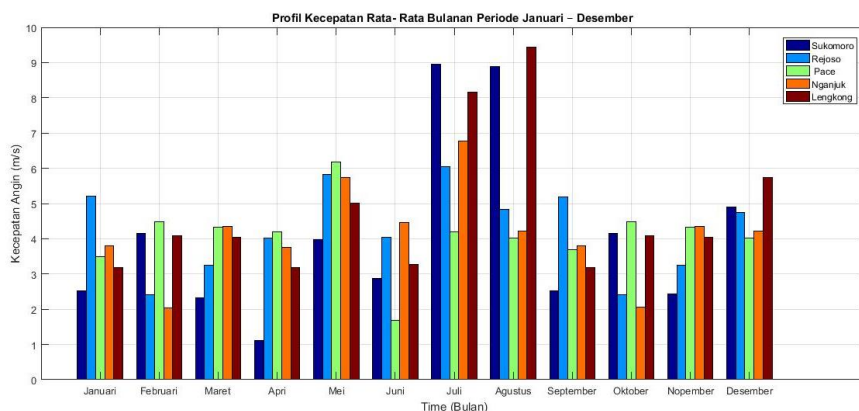
Pada bab ini membahas tentang hasil penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian meliputi profil kecepatan angin bulanan dan harian, optimalisasi struktur komposisi nilai parameter *BPNN*, simulasi prediksi kecepatan angin, estimasi produksi energi listrik, perhitungan *payback periode* dan emisi yang direduksi, perhitungan bobot vektor prioritas menggunakan *F AHP* pada hirarki kriteria utama, sub kriteria ekonomi, sub kriteria ramah lingkungan, penentuan keputusan akhir untuk pemilihan lokasi *wind farm*, dan analisa.

4.1 Pengolahan Data Angin

Pengambilan data kecepatan angin dimulai April hingga Nopember 2015 dengan *automatic weather station* (AWS) pada lokasi Sukomoro, Rejoso, Pace, Nganjuk dan Lengkong. Data yang diambil meliputi kecepatan angin, kelembapan, suhu, tekanan udara, waktu dan arah angin.

Data tersebut selanjutnya diolah dalam bentuk rerata periode bulanan dan harian. Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 menunjukkan profil kecepatan angin, suhu, kelembapan dan tekanan rata-rata periode harian.

4.1.1 Profil Kecepatan Rata- Rata Bulanan Periode Januari – Desember



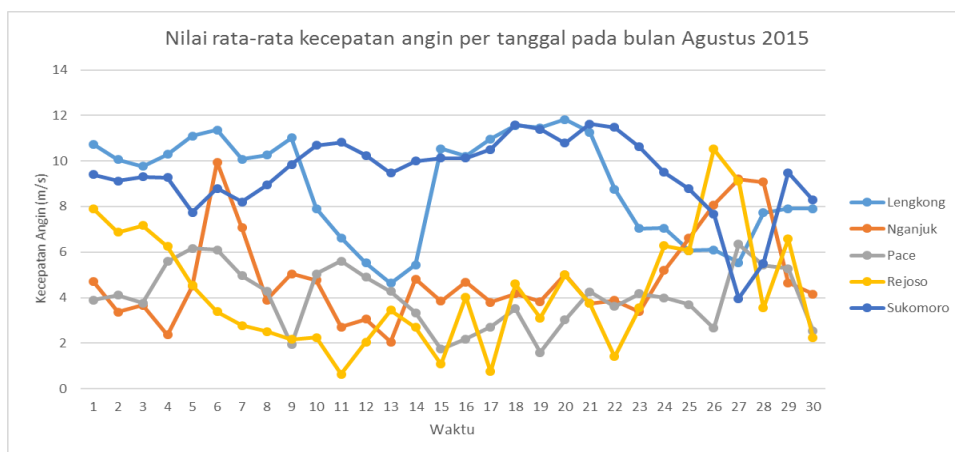
Gambar 4.1 Profil Kecepatan Angin Rata-Rata di Kabupaten Nganjuk Periode Januari – Desember

Berdasarkan gambar 4.1 menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata periode bulanan pada setiap lokasi sangat fluktuatif, kecepatan tertinggi terdapat pada bulan Agustus dan paling rendah pada bulan April.

Untuk bulan Agustus, kecepatan angin yang paling tinggi sebesar 9.41 m/s dan 8.95 m/s berada pada alternatif lokasi Sukomoro dan Lengkong dan Sukomoro sedangkan alternatif lokasi Rejoso, Nganjuk dan Pace kecepatan rata-rata yang sebesar 6.75 m/s, 6.15 m/s dan 6.03 m/s. Pada bulan April kecepatan angin rata-rata terendah yaitu sebesar 1.16 m/s berada pada alternatif lokasi Lengkong sedangkan untuk alternatif lokasi Rejoso, Pace, Nganjuk dan Sukomoro memiliki kecepatan angin sebesar 4.01 m/s, 4.19 m/s, 3.76 m/s dan 3.18 m/s.

4.1.2 Profil Kecepatan Angin, Suhu, Kelembapan, dan Tekanan Udara

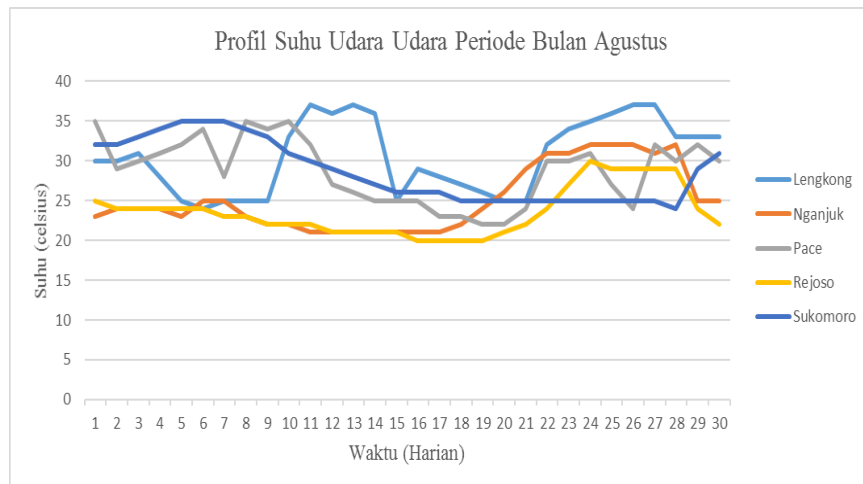
Profil kecepatan angin, suhu, kelembapan, dan tekanan udara yang ditampilkan merupakan rata-rata harian pada periode bulan Agustus.



Gambar 4.2 Profil Kecepatan Angin Rata-Rata Harian Periode Agustus

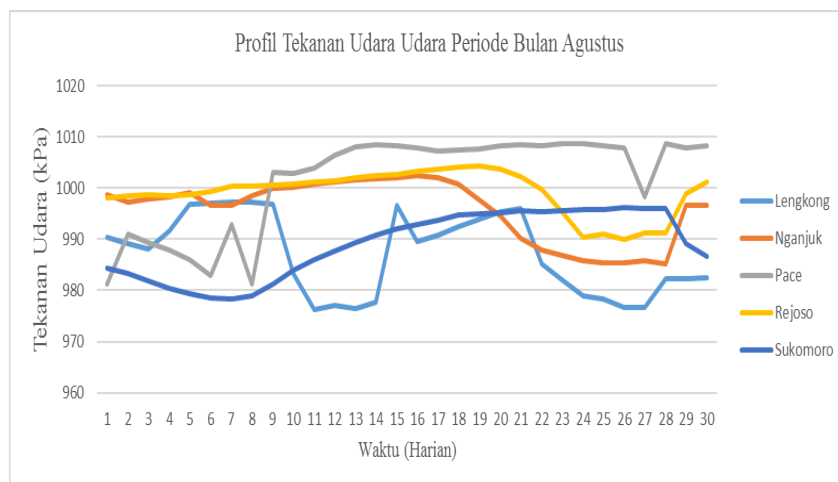
Berdasarkan gambar 4.2 menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata harian periode Agustus pada setiap lokasi memiliki karakteristik yang sangat variatif. Pada awal bulan (1-10), kecepatan angin rata-rata harian tertinggi adalah 11.36 m/s, dan terendah adalah 1.94 m/s. Pada pertengahan bulan (11-20), kecepatan rata-rata angin harian tertinggi berada adalah 11.82 m/s dan terendah 0.64 m/s. Sedangkan akhir bulan (periode 21-30) kecepatan rata-rata angin harian

tertinggi berada adalah 11.62 m/s dan terendah 1.42 m/s. Selanjutnya, untuk profil suhu ditampilkan pada gambar 4.3.



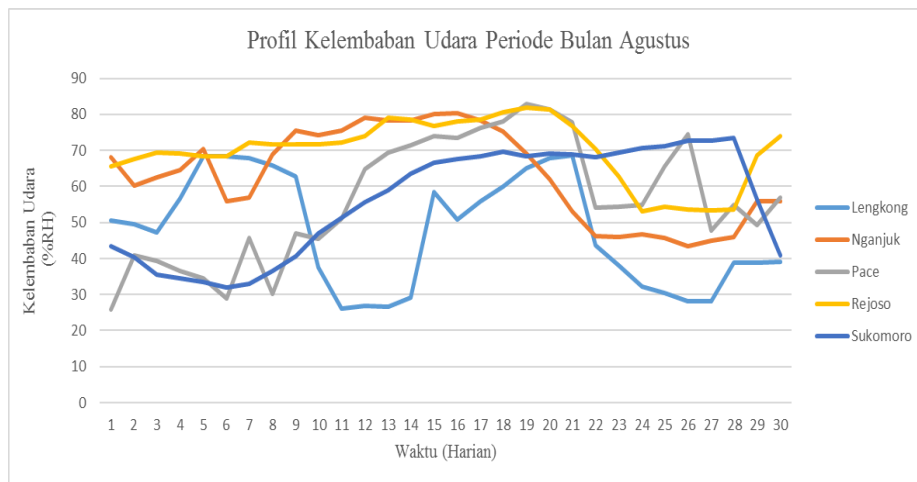
Gambar 4.3 Profil Suhu Harian Periode Agustus

Berdasarkan gambar 4.3 menunjukkan bahwa pola suhu harian periode bulan Agustus memiliki *trend* yang sangat variatif. Pada awal bulan (1-10), suhu tertinggi yaitu 35° *celsius* dan terendah 22° *celsius*. Pada pertengahan bulan (11-20), suhu tertinggi yaitu 32° *celsius* dan terendah 20° *celsius*. Sedangkan akhir bulan (periode 21-30) suhu tertinggi yaitu 32° *celsius* dan terendah 20° *celsius*. Selanjutnya profil tekanan udara ditampilkan pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Profil Tekanan Harian Periode Agustus

Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan bahwa pola kelembaban udara harian periode bulan Agustus memiliki *trend* yang sangat variatif. Pada awal bulan (1-10), suhu tertinggi yaitu 1003 kPa dan terendah 978 kPa. Pada pertengahan bulan (11-20), suhu tertinggi yaitu 1008.5 kPa dan terendah 986 kPa. Sedangkan akhir bulan (periode 21-30) suhu tertinggi yaitu 1008.7 kPa dan terendah 985.1 kPa. Selanjutnya profil kelembaban udara ditampilkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Profil Kelembaban Udara Harian Periode Agustus

Berdasarkan gambar 4.5 menunjukkan bahwa pola kelembaban udara harian periode bulan Agustus memiliki *trend* yang sangat variatif. Pada awal bulan (1-10), suhu tertinggi yaitu 75.6 % *relativ humidity* dan terendah 25.9 % *relativ humidity*. Pada pertengahan bulan (11-20), suhu tertinggi yaitu 83 % RH dan terendah 51.1 % *relativ humidity*. Sedangkan akhir bulan (periode 21-30) suhu tertinggi yaitu 77.7 % *relativ humidity* dan terendah 40.8 % *relativ humidity*. Data - data tersebut selanjutnya dijadikan untuk *inputan* ketika dilakukan simulasi prediksi.

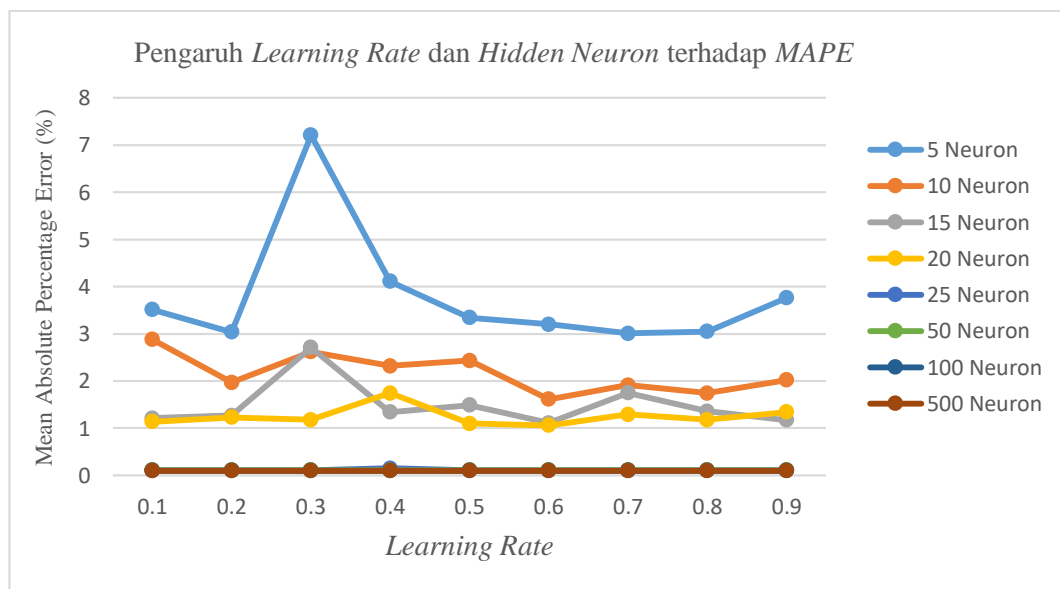
4.2 Hasil Optimalisasi Komposisi Struktur BPNN

Setting ini bertujuan mendapatkan komposisi struktur *artificial neural network* yang optimal ketika melakukan simulasi prediksi kecepatan angin. Komposisi *artificial neural network* yang optimal didapatkan berdasarkan

perolehan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* mendekati *MAPE* yang ditargetkan [15] dan waktu komputasi minimal. Perolehan *MAPE* dan waktu komputasi dipengaruhi oleh parameter iterasi, *learning rate (alpha)* dan *hidden neuron layer*.

4.2.1 Hasil Setting Parameter *Learning Rate* dan *Hidden Neuron Layer* terhadap *MAPE*

Setting parameter ini untuk mendapatkan nilai *learning rate* dan jumlah *hidden neuron layer* optimal yang digunakan untuk melakukan prediksi kecepatan angin. Nilai *learning rate* dan jumlah *hidden neuron layer* optimal diperoleh berdasarkan *MAPE* yang paling terkecil. Dalam *experiment* ini dilakukan beberapa kombinasi parameter nilai *learning rate* dimulai 0.1 hingga 0.9, dan jumlah *hidden neuron layer* yang sebanyak 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200, 500 [27, 28]. Gambar 4.5 menampilkan hasil *experiment* pengaruh parameter terhadap *hidden neuron layer* dan *learning rate*.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh *Learning Rate* dan *Hidden Neuron* terhadap *MAPE*

Dari hasil *experiment* di atas menunjukkan bahwa, nilai *MAPE* yang menggunakan sebanyak lima *hidden neuron* lebih tinggi dibandingkan dengan 10, 15, 20 dan 20 unit *hidden neuron*, begitu juga nilai *MAPE* yang dihasilkan dengan

menggunakan 25 unit *hidden neuron* lebih tinggi dibandingkan dengan 100, 200 dan 500 unit *hidden neuron*.

Penambahan jumlah *hidden neuron* mempengaruhi nilai *MAPE* menjadi semakin kecil, hal tersebut disebabkan perolehan nilai bobot yang semakin kecil sehingga menghasilkan nilai keluaran semakin mendekati target sehingga akan membuat nilai *MAPE* semakin kecil. Kondisi demikian terjadi ketika dilakukan perubahan nilai *learning rate*, berdasarkan hasil *experiment* di atas menunjukkan perolehan nilai *MAPE* yang menggunakan 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 dan 0.6 lebih rendah jika dibandingkan menggunakan 0.7, 0.8 dan 0.9, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai *learning rate* yang digunakan akan berpengaruh pada besarnya nilai *MAPE* yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh perubahan bobot semakin besar sehingga akan mempengaruhi hasil *output* yang semakin jauh dengan target yang mengakibatkan perolehan *MAPE* terlalu besar. Pemakaian nilai *learning rate* kecil akan menyebabkan perubahan bobot semakin kecil, ini akan membuat algoritma akan lama mencapai konvergen [15]. Berdasarkan hasil *experiment* tersebut maka didapatkan nilai *MAPE* minimal yang diperoleh adalah 3.01, 1.61, 1.11, 1.06, 0.11, 0.11, 0.1 dan 0.1.

4.2.2 Hasil Setting Parameter *Learning Rate* dan *Hidden Neuron Layer* terhadap Waktu

Dalam *experiment* ini dilakukan beberapa kombinasi parameter nilai *learning rate* yaitu 0.1 hingga 0.9, dan jumlah *hidden neuron layer* yang dimulai dengan menggunakan 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, dan 500 unit [27, 28], kombinasi ini untuk melihat pengaruh kedua parameter tersebut terhadap waktu. Tabel 4.1 menunjukkan durasi waktu simulasi.

Tabel 4.1 Pengaruh *Learning Rate* dan *Hidden Neuron* terhadap Waktu

Jumlah Neuron	Learning Rate								
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
5 Neuron	10.28	10.42	10.57	10.72	10.86	11	11.15	11.3	11.44
10 Neuron	10.44	10.69	10.93	11.17	11.41	11.64	11.88	12.12	12.36

15 Neuron	11.66	11.79	11.91	12.04	12.16	12.28	12.4	12.53	12.65
20 Neuron	17.05	17.34	18.15	18.87	19.57	20.27	21	21.71	22.43
25 Neuron	58.04	65.01	66.89	68.76	70.6	72.41	74.3	76.17	78
50 Neuron	63.18	77.95	101.02	124.06	146.98	169.98	193.05	207.94	223.12
100 Neuron	271.97	321.05	370.05	420.04	470.03	519.93	568.51	616.7	665.59
200 Neuron	5173.9	5565.6	5956.19	6347.89	6738.47	7131.96	7524.41	7916.08	8307.69
500 Neuron	54293.7	55976.4	57653.7	59035.3	60780.1	62499.3	64201.2	65952.3	67635.6

Dari hasil *experiment* di atas menunjukkan bahwa, waktu komputasi menggunakan lima unit *hidden neuron* lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan 10, 15 dan 20 unit *hidden neuron* serta menggunakan 25 unit *hidden neuron* lebih tinggi dibandingkan dengan 50 dan 100 *hidden neuron*, begitu juga menggunakan 200 unit *hidden neuron* dan menggunakan 500 *hidden neuron*.

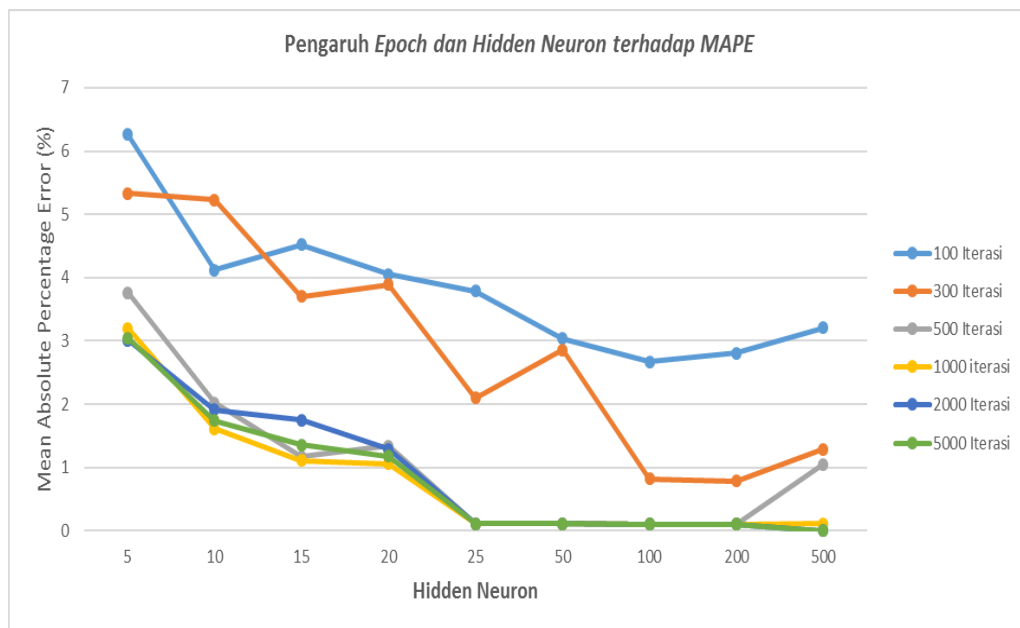
Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa semakin banyak menggunakan jumlah *hidden neuron* akan membutuhkan waktu komputasi yang lama, ini disebabkan karena perhitungan bobot pada lapisan Z_j , semakin banyak *neuron* yang digunakan maka semakin besar waktu dibutuhkan sehingga ini akan berdampak pada waktu komputasi.

Berdasarkan hasil *experiment* di atas menunjukkan, penggunaan nilai *learning rate* juga mempengaruhi kecepatan waktu komputasi, hal ini terlihat ketika menggunakan nilai *learning rate* 0.1, 0.2 dan 0.3, waktu komputasinya ang dibutuhkan lebih rendah jika dibandingkan menggunakan 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 dan 0.9. Untuk itu dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai *learning rate*, maka semakin besar waktu komputasi dibutuhkan. Hal tersebut disebabkan karena semakin besar nilai *learning rate* digunakan membuat jaringan menjadi tidak stabil, ketidakstabilan ini akan menyebabkan perolehan bobot semakin besar sehingga akan menghasilkan nilai keluaran dan target yang diinginkan semakin menjauh. Untuk memperbaiki hal tersebut maka dibutuhkan waktu lama [24].

Berdasarkan *experiment* di atas didapatkan bahwa perolehan *MAPE* terendah dihasilkan ketika menggunakan jumlah *hidden neuron* sebanyak 25, 50, 100 dan 500 unit dengan nilai *learning rate* 0.6 yaitu 0.11 dengan waktu komputasi yang dibutuhkan adalah 72.41, 169.98, 519.93, 7131.96, 62499.39 *milisecond*.

4.2.3 Hasil Setting Parameter Iterasi dan Hidden Neuron terhadap MAPE

Setting parameter ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah iterasi optimal dan *hidden neuron* optimal berdasarkan perolehan *MAPE* minimal. Hasil *experiment* dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Iterasi dan *Hidden Neuron* terhadap *MAPE*

Dari hasil *experiment* di atas menunjukkan bahwa variasi penggunaan jumlah iterasi mempengaruhi perolehan *MAPE*. Hal ini terlihat dari penggunaan sebanyak 100 iterasi, perolehan *MAPE* lebih besar dibandingkan dengan 300 iterasi dan 500 iterasi, kondisi yang sama terjadi ketika menggunakan sebanyak 1000 iterasi, hasil perolehan *MAPE* lebih tinggi rendah dibandingkan dengan 2000 dan 5000 iterasi.

Sedangkan untuk penambahan jumlah neuron pada *hidden layer* mengalami hal yang sama dimana perolehan *MAPE* dengan menggunakan lima

hidden neuron lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan 10, 15, 20 dan 25 unit *hidden neuron*, begitu juga nilai *MAPE* yang dihasilkan dengan menggunakan 50 unit *hidden neuron* lebih tinggi dibandingkan dengan 100, 200 dan 500 unit *hidden neuron*.

Dari simulasi tersebut didapatkan, pengaruh nilai *MAPE* yang sangat signifikan mulai terlihat pada 500, 1000, 2000 dan 5000 iterasi dimana jumlah *hidden neuron* yang dipakai sebanyak 25 unit dengan perolehan *MAPE* yang dihasilkan adalah 0.11. Karena tidak ada perbedaan selisih nilai *MAPE* maka jumlah iterasi yang digunakan untuk prediksi kecepatan angin pada setiap lokasi menggunakan komposisi 25 *neuron* dan 500 iterasi. Tabel 4.2 menunjukkan komposisi jaringan yang digunakan untuk prediksi kecepatan angin.

Tabel 4.2 Komposisi ANN Untuk Simulasi Prediksi Kecepatan Angin

Alternatif Lokasi	Hidden Neuron	Learning Rate	Iterasi
Sukomoro	25	0.6	500
Rejoso	25	0.6	500
Pace	25	0.6	500
Nganjuk	25	0.6	500
Lengkong	25	0.6	500

Penggunaan *hidden neuron* sebanyak 25 unit dikarenakan selisih waktu komputasi dengan penggunaan 50 unit *hidden neuron*, 100, 200 dan 500, unit *hidden neuron* sangat signifikan yaitu, 97.57, 447.52, 7059.55, 62426.98 *milisecod*, tetapi selisih perolehan *MAPE* tidak jauh berbeda.

Hal yang sama juga terlihat ketika pemakaian jumlah iterasi. Penggunaan sebanyak 1000 iterasi dikarenakan selisih perolehan *MAPE* dengan 2000 dan 5000 iterasi sangat kecil yaitu 0.01 dan 0.03 persen.

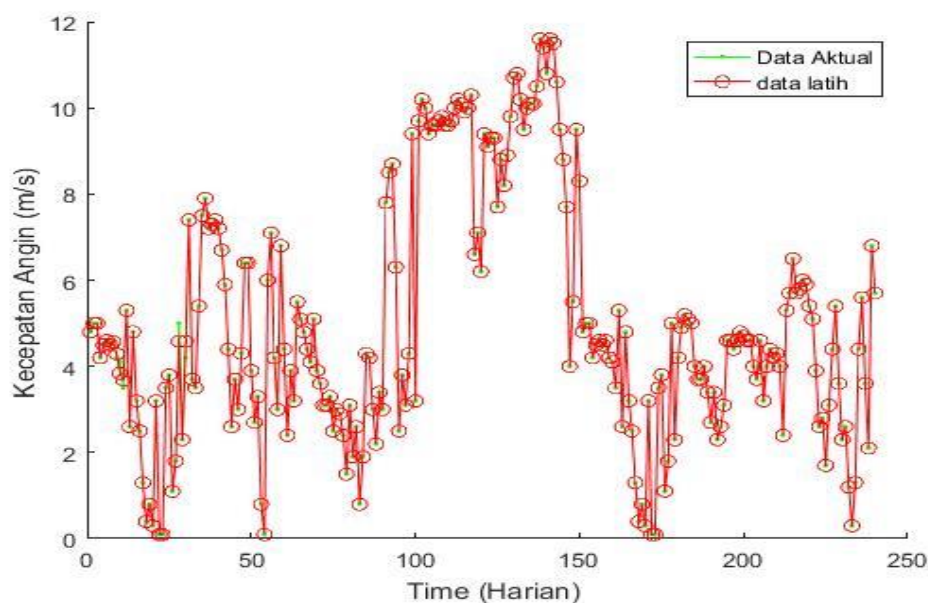
4.2.4 Hasil Simulasi Prediksi Kecepatan Angin Menggunakan BPNN

Simulasi prediksi ini bertujuan untuk melihat pola kecepatan angin yang akan digunakan untuk estimasi potensi energi listrik, simulasi ini menggunakan metode *BPNN* memakai tiga lapisan layer yaitu, *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Lapisan ini digunakan sebagai tempat pengolahan data yang telah dirata-ratakan sebelumnya.

Dalam simulasi, total data digunakan untuk setiap lokasi adalah 240. Sebanyak 240 data digunakan untuk membentuk suatu jaringan *BPNN*. Pada jaringan tersebut data digunakan untuk *training* guna mendapatkan nilai *weight* yang kemudian disimpan. Data *training* terdiri dari suhu, tekanan, kelembapan dan waktu.

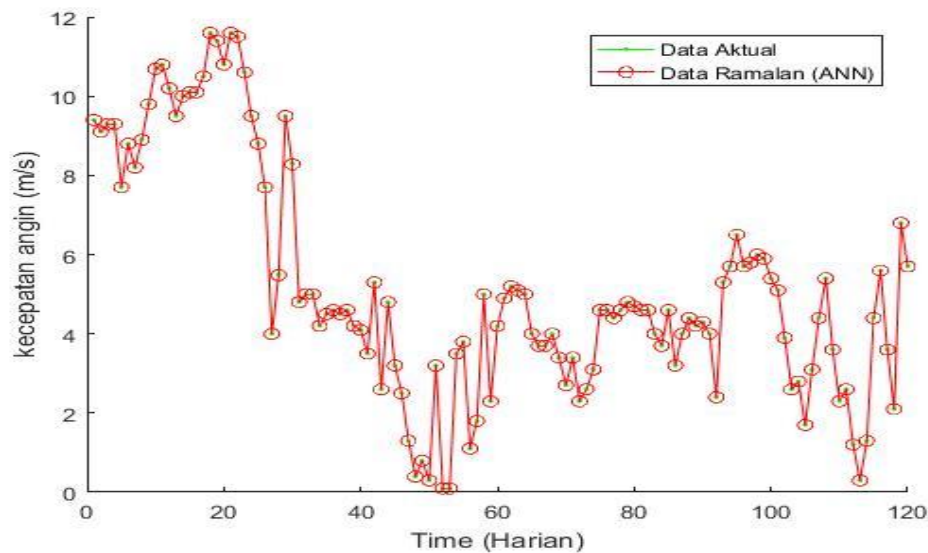
Setelah data tersebut dilatih, 120 data berikutnya digunakan untuk *testing*. *Testing* ini bertujuan untuk mendapatkan pola data kecepatan angin pada masa mendatang. Nilai *weight* saat *training* kemudian diproses pada data *testing*. Pada proses *BPNN*, *weight input* hasil pelatihan akan selalu diperbarui hingga menghasilkan bobot terbaik.

4.2.4.1 Hasil Simulasi Lokasi Sukomoro



Gambar 4.8 Hasil *Training* Lokasi Sukomoro

Pada gambar 4.8 menunjukkan hasil *output* dari proses *training* mendekati target yang diinginkan, hal ini merepresentasikan bahwa jaringan yang terbentuk sudah ideal. Nilai *error training* terkecil terdapat pada adalah 0.075278, 0.094747 dan 0.173207 terletak pada data 84, 235 dan 177, sedangkan nilai *error testing* terbesar 4.251433312, 3.11126572 dan 2.83467888 terdapat pada data 21,19 dan 169.



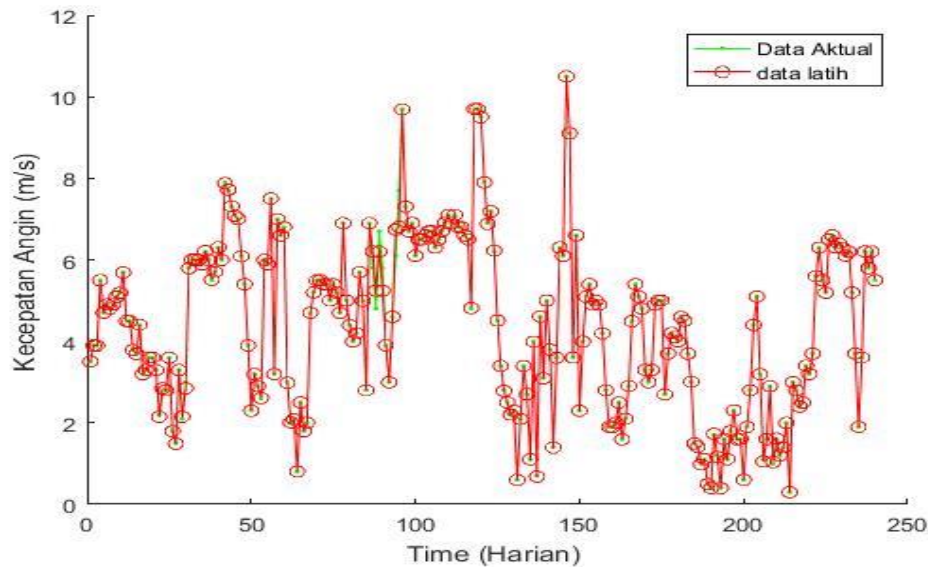
Gambar 4.9 Hasil *Testing* Lokasi Sukomoro

Gambar 4.9, menunjukkan bahwa tidak semua hasil *testing* mampu mengikuti pola *training*, akan tetapi secara keseluruhan hasilnya sudah bagus karena mampu mengikuti pola. Dari pengujian ini dihasilkan *error* terkecil adalah data ke 226, 233 dan 239 dengan nilai *error* yang dihasilkan adalah 0.244111113, 0.288618272 dan 0.357225794, sedangkan nilai *error* terbesar adalah 6.275763475 0.858895259 0.772425019 terletak pada data ke- 234, 236 dan 240.

4.2.4.2 Hasil Simulasi Lokasi Rejoso

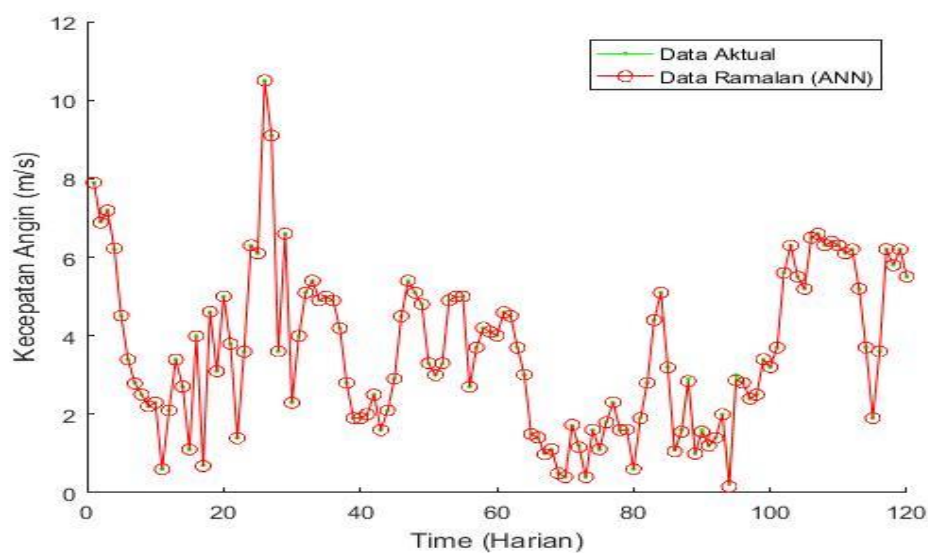
Pada gambar 4.10 menunjukkan hasil *output* dari proses *training* mendekati target yang diinginkan, hal ini merepresentasikan bahwa jaringan yang terbentuk sudah ideal. Nilai *error training* terkecil terdapat pada data ke- 27, 28 dan 13 dengan nilai *error* 0.182092152, 0.182463098 dan 0.225071768, sedangkan

nilai *error* terbesar adalah 5.708439677, 2.487133643 dan 2.475810057 terletak pada data 96, 18 dan 19.



Gambar 4.10 Hasil *Training* Lokasi Rejoso

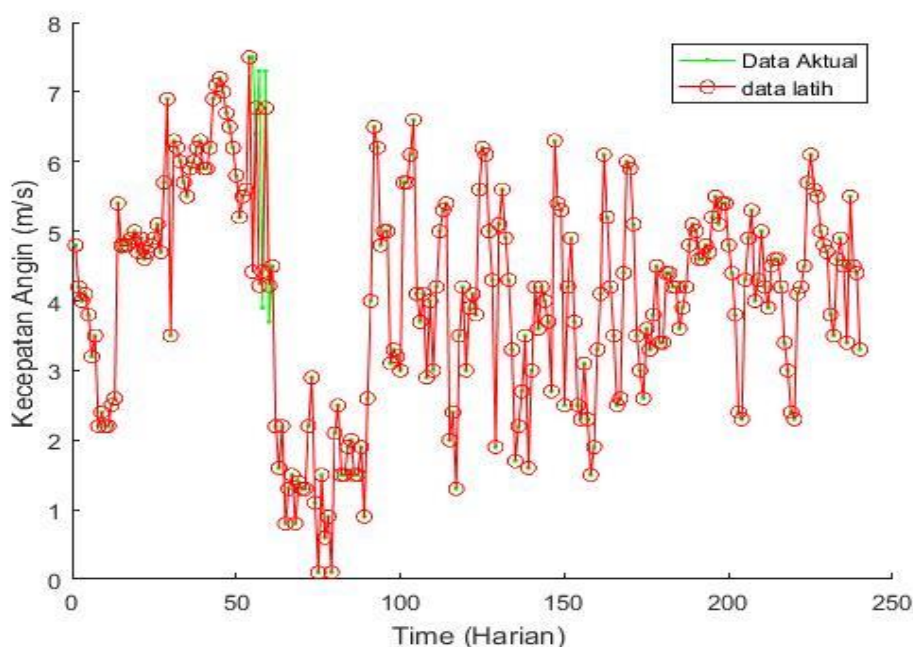
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa beberapa hasil *testing* sudah mampu mengikuti pola *training* tetapi ada beberapa data yang masih belum mampu mengikuti. Dari pengujian ini diperoleh *error* terkecil adalah 0.025064816, 0.030867717 dan 0.03866092 pada data ke- 231, 241 dan 230 dan nilai *error* 1.068300939, 2.917011167 dan 2.562711073 terletak pada data 234, 233 dan 242.



Gambar 4.11 Hasil *Testing* Lokasi Rejoso

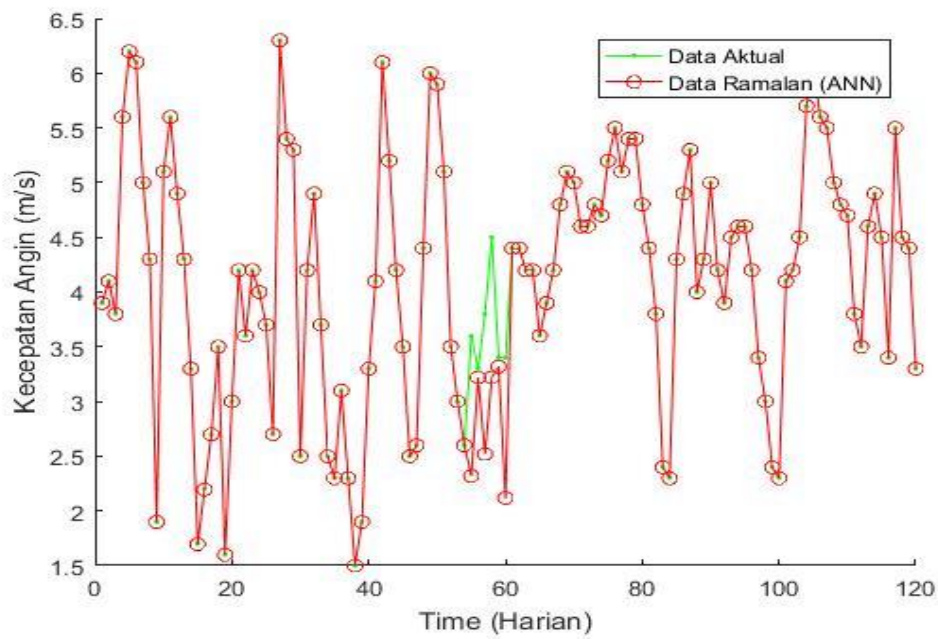
4.2.4.3 Hasil Simulasi Lokasi Pace

Pada gambar 4.12 menunjukkan hasil *training* dimana posisi hasil *output* dan target mulai berdekatan, ini merepresentasikan jaringan yang terbangun saat data ditraining sudah hampir ideal. Nilai *error training* terkecil terdapat pada data ke- 62, 8, 107 dengan nilai *error* terkecil 0.001665564, 0.003415719 dan 0.004892492 dan nilai *error* terbesar adalah 2.066490892, 1.957637422 dan 1.897353931 terdapat pada data 31, 45 dan 81.



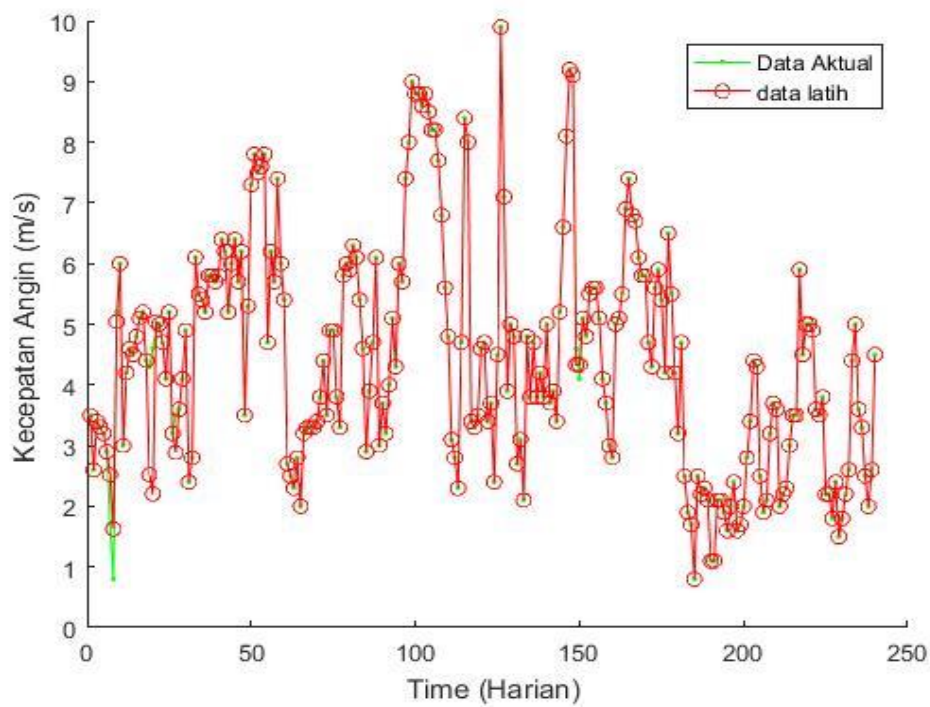
Gambar 4.12 Hasil *Training* Pada Lokasi

Gambar 4.13 menunjukkan beberapa hasil *testing* kurang bagus karena ada beberapa data uji tidak mampu mengikuti pola hasil *training* meskipun jaringan yang terbangun sangat ideal, hal ini disebabkan variasi data angin yang sangat fluktuatif. Berdasarkan hasil pengujian ini didapatkan *error* terkecil adalah 0.193602672, 0.079413967 dan 0.134888765 terdapat pada data 217, 232 dan 241 dan nilai terbesar adalah 1.533632175, 1.774801257 dan 1.41722002 terletak pada data 225, 226 dan 238.



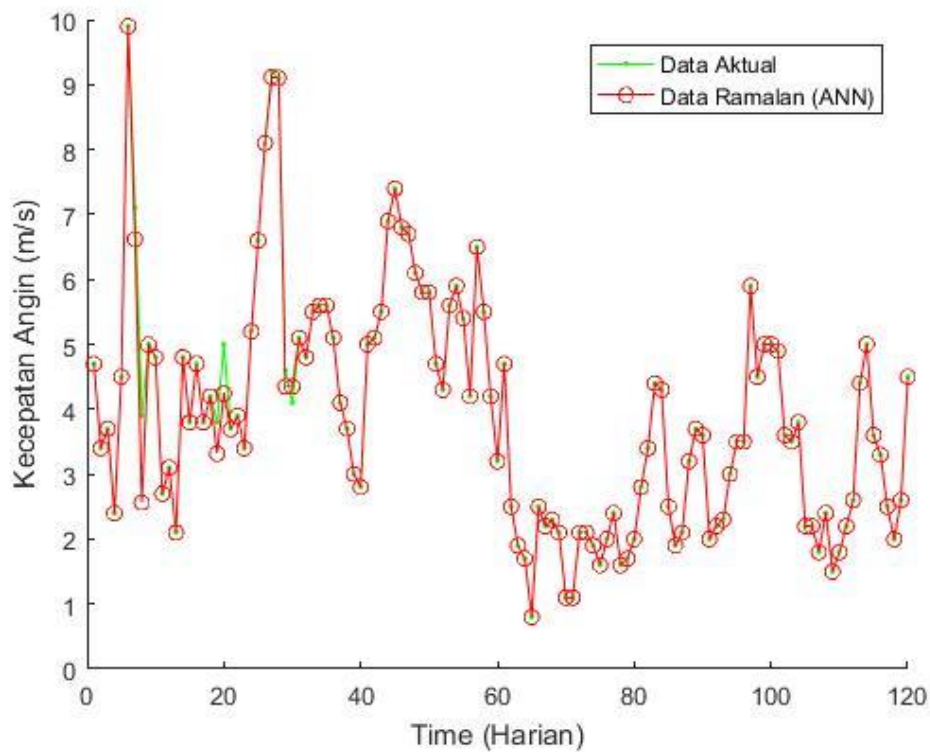
Gambar 4.13 Hasil *Testing* pada Lokasi

4.2.4.4 Hasil Simulasi Lokasi Nganjuk



Gambar 4.14 Hasil *Training* Pada Lokasi Nganjuk

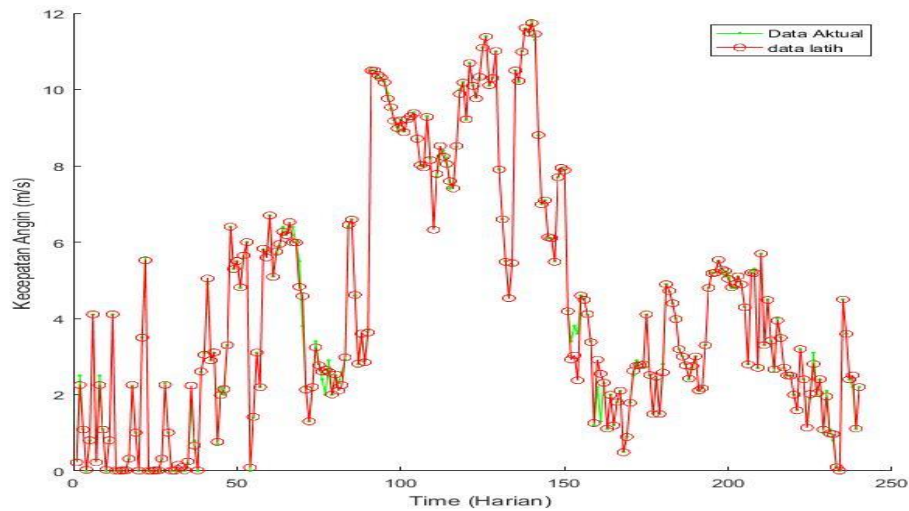
Pada gambar 4.14 menunjukkan hasil *training* dimana hasil *output* dan target mulai berdekatan, ini menunjukkan bahwa hasil *training* sudah hampir sempurna. Nilai *error training* terkecil terdapat pada data ke- 4, 12 dan 16 dengan nilai *error* 0.000085119419, 0.00000287015 dan 0.0000011283315 dan nilai *error* terbesar adalah 0.5640118, 0.396081766859 dan 0.050635258033 terletak pada data 8, 18 dan 150.



Gambar 4.15 Hasil *Testing* Pada Lokasi Nganjuk

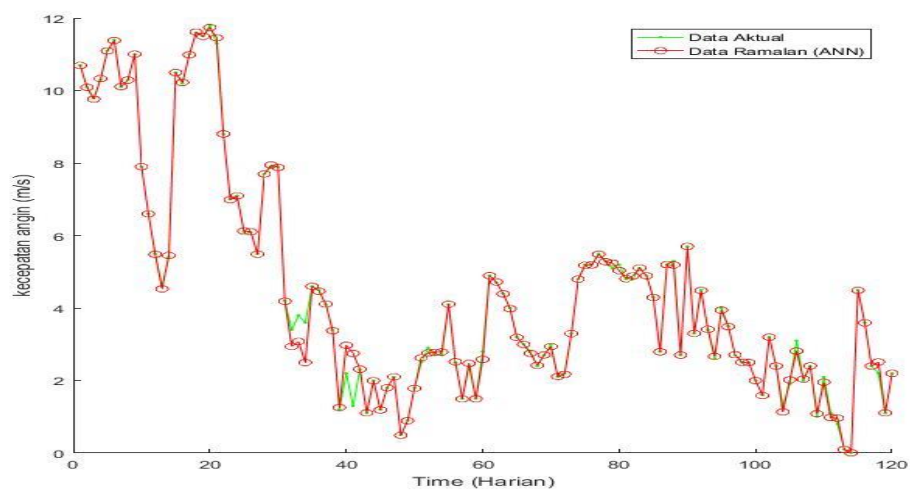
Gambar 4.15 menunjukkan bahwa tidak semua hasil *testing* mampu mengikuti pola *training*, akan tetapi secara keseluruhan hasilnya sudah bagus karena mampu mengikuti pola. Hasil *testing* didapatkan bahwa *error* terkecil adalah 0.156482151 0.161165905 dan 0.164069261 terdapat pada data ke-224, 225, dan 236 dan nilai *error* terbesar 0.2740118, 0.16081766859 dan 0.10635258033 terletak pada data 8, 18 dan 17.

4.2.4.5 Hasil Simulasi Lokasi Lengkong



Gambar 4.16 Hasil *Training* Pada Lokasi

Pada gambar 4.16 menunjukkan hasil *training* dimana posisi data target dengan *output* mulai berdekatan, ini menunjukkan bahwa hasil *training* sudah terlihat baik. *Error* terkecil terdapat pada data 43, 211 dan 44 dengan nilai *error*nya yaitu 0.021341155, 0.037831365 dan 0.108012595 sedangkan *error* terbesar adalah 5.903012592, 4.376153478 dan 4.060496762 berada pada data 141, 91 dan 142.



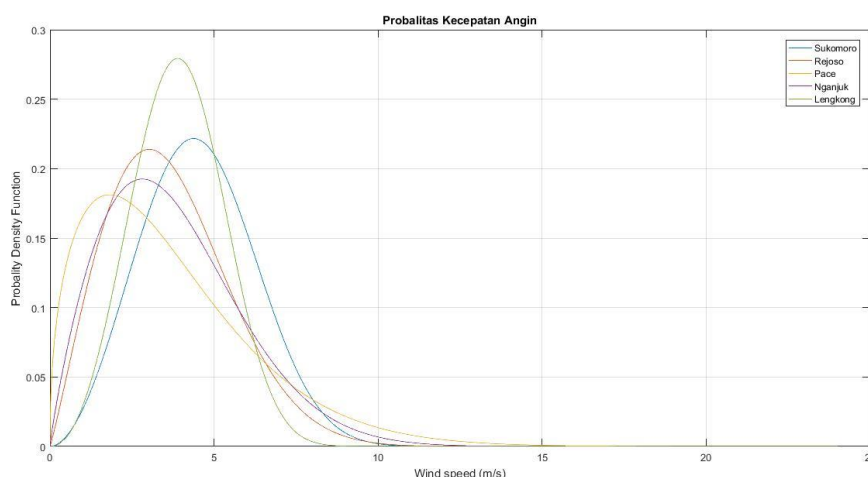
Gambar 4.17 Hasil *Testing* Pada Lokasi Lengkong

Gambar 4.17 menunjukkan *error testing* kurang bagus, tetapi posisi beberapa data target dengan output ada yang mendekati, hal ini disebabkan variasi data angin yang sangat fluktuatif. *Error* terkecil terdapat pada data 236, 241 dan 230 dengan nilai *error*nya yaitu 3.171472299, 1.112877309 dan 4.127334049 sedangkan *error* terbesar adalah 6.646609825, 4.434413363 dan 5.586263129 berada pada data 221, 225 dan 226. Berdasarkan beberapa simulasi di atas diperoleh bahwa hasil jaringan output mendekati target, hal ini terlihat berdasarkan nilai *mean absolute percentage error*. Pada saat *testing*, tidak semua lokasi hasil peramalan mendekati data aktual hal ini disebabkan keunikan data proses *training BPNN* berbeda jauh dengan variasi dan keunikan data *testing ANN*.

Penggunaan jumlah data akan mempengaruhi hasil peramalan dimana jumlah data yang terlalu sedikit akan menyebabkan hasil *training* dan *testing BPNN* memiliki *error* yang besar.

4.2.5 Perhitungan Distribusi Kecepatan Angin

Setelah dilakukan prediksi kecepatan angin selanjutnya dilakukan perhitungan distribusi kecepatan angin. Perhitungan ini menggunakan data hasil pengukuran dan hasil prediksi. Hasil perhitungan ditunjukkan pada gambar 4. 18.



Gambar 4.18 Probability Density Function Kecepatan Angin Pada Setiap Lokasi

Berdasarkan gambar 4.18 menunjukkan kecepatan angin yang memiliki frekuensi dominan pada lokasi Sukomoro yaitu 4 m/s dengan probabilitas yang

dihasilkan adalah 23.1 %, untuk lokasi Rejoso dan Pace frekuensi kecepatan angin dominan yaitu 3 m/s dan 2 m/s dengan probabilitas adalah 23 % dan 18 %, sedangkan untuk Nganjuk dan Lengkong frekuensi dominan kecepatan angin yaitu 3 m/s dan 4 m/s dengan probabilitas yaitu, 19 % dan 27.86 %.

4.3 Produksi Energi Listrik

Hasil perhitungan distribusi kecepatan angin digunakan untuk mengestimasi potensi produksi energi listrik dengan spesifikasi sistem konversi energi angin (SKEA) yang digunakan yaitu jari-jari blade sebesar 0.8 meter, area sapuan sebesar 2.0096 meter², ketinggian 8 meter dan menggunakan generator *permanent magnet syncrounous generator* (PMSG) dengan nilai *cut in* sebesar 3 ms⁻¹ dan nilai *cut off* nya adalah 24 ms⁻¹. Estimasi energi listrik dilakukan pada area seluas 120 m² dengan turbin yang terpasang yaitu 11 unit. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Produksi Energi, Kebutuhan Energi, Eksport dan Import Energi Setiap Lokasi

Lokasi	Produksi Energi (kWh/tahun)	Kebutuhan Energi (kWh/tahun)	Grid (kWh/tahun)	
			<i>Eksport</i>	<i>Import</i>
Sukomoro	7557.33	7148.4	408.93	0
Rejoso	3964.73	7148.4	0	3183.67
Pace	5432.68	7148.4	0	1715.72
Nganjuk	3795.22	7148.4	0	2530.82
Lengkong	3568.07	7148.4	0	2807.25

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan bahwa lokasi Sukomoro mampu memproduksi energi listrik tertinggi, ini mengindikasikan bahwa lokasi tersebut merupakan lokasi yang terbaik karena kemampuan dalam memasok energi untuk beban sebesar 7148.4 kWh/tahun dan *import* energi ke grid, sedangkan untuk lokasi Pace, Nganjuk, Rejoso dan Lengkong masih belum optimal karena masih

membutuhkan *eksport* energi dari grid/utility setiap tahunnya. Hasil produksi energi listrik ini kemudian dijadikan *base* untuk pemberian level kepentingan dalam pemilihan lokasi *windfarm*. Hasil level kepentingan ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Potensi Energi Listrik.

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	9
Rejoso	6
Pace	8
Nganjuk	7
Lengkong	5

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan pada hirarki alternatif terhadap sub kriteria potensi energi listrik.

4.4 Kriteria Ekonomis

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil perhitungan *payback periode*, pengukuran kedekatan akses grid, dan akses jalan menuju lokasi yang diusulkan. Hasil tersebut digunakan untuk penilaian level kepentingan.

4.4.1 Hasil Payback Periode

Hasil perhitungan ini bertujuan untuk melihat *periode* pengembalian biaya yang diinvestasikan pada setiap alternatif lokasi. Biaya investasi yang digunakan dalam penelitian ini bervariasi karena bergantung dengan jumlah kebutuhan komponen *windfarm* pada setiap alternatif lokasi untuk menyuplai kebutuhan beban sebesar 7148.4 kWh/tahun.

Perhitungan *payback* dilakukan dengan mempertimbangkan *lifetime* turbin angin selama 25 tahun. Perhitungan dilakukan berdasarkan penjualan dan pembelian kWh listrik dari grid untuk mengoperasikan beban pada setiap lokasi. Hasil perhitungan *payback periode* ditunjukkan pada tabel 4.5. Hasil tersebut menjadi acuan dalam penilaian level kepentingan ketika dilakukan perbandingan berpasangan dengan alternatif lokasi yang diusulkan.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Payback Periode

Alternatif Lokasi	Pengeluaran		Pemasukan/tahun (Rp)	Benefit	Payback periode
	Biaya Investasi (Rp)	Biaya <i>Import</i> Energi /tahun (Rp)			
Sukomoro	185,300,000	-	9,068,796	9,068,796	20.43
Rejoso	161,900,000	3,502,037	4,757,676	1,255,639	128.94
Pace	180,500,000	1,887,292	6,519,216	4,631,924	38.97
Nganjuk	182,300,000	2,783,902	5,541,096	2,757,194	66.12
Lengkong	167,300,000	3,087,975	5,209,380	2,121,405	78.86

Berdasarkan tabel 4.5 menunjukkan bahwa pengeluaran terdiri dari dua jenis yaitu biaya investasi dan biaya *import* energi. Biaya investasi yang digunakan pada setiap lokasi variatif, ini dipengaruhi oleh jumlah perangkat *wind turbin* dan pembelian lahan pada setiap lokasi, sedangkan biaya *import* energi dipengaruhi oleh kebutuhan jumlah energi tambahan untuk mengoperasikan beban sebesar 7148.4 kWh/tahun. Untuk jumlah pemasukan diperoleh dari hasil penjualan energi listrik yang diproduksi oleh turbin angin ke grid, dan nilai *benefit* diperoleh berdasarkan selisih dari biaya penjualan produksi energi dan biaya *import* energi.

Nilai *payback periode* diperoleh dari biaya investasi dibagi dengan nilai *benefit*. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa, alternatif lokasi yang memiliki potensi pengembalian biaya dan investasi paling cepat adalah Sukomoro dengan durasi waktu yang diperlukan yaitu 20 tahun 4 bulan sedangkan untuk lokasi Pace, Nganjuk, Rejoso dan Lengkong belum mampu mengembalikannya.

Tabel 4.6 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria *Payback Periode*

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	9
Rejoso	5
Pace	8
Nganjuk	6
Lengkong	7

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan untuk hirarki alternatif terhadap sub kriteria *payback periode*.

4.4.2 Hasil Akses Grid

Hasil penilaian akses grid didapatkan berdasarkan pengukuran pada setiap alternatif lokasi yang diusulkan, hasil ini menjadi acuan untuk penilaian level kepentingan. Hasil penilaian level kepentingan untuk akses grid dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Akses Grid

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	8
Rejoso	7
Pace	5
Nganjuk	9
Lengkong	6

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan untuk hirarki alternatif terhadap sub kriteria akses grid.

4.4.3 Hasil Akses Jalan

Hasil penilaian akses jalan didapatkan berdasarkan pengukuran pada setiap alternatif lokasi yang diusulkan, hasil ini menjadi acuan untuk penilaian level kepentingan. Hasil penilaian level kepentingan untuk akses jalan dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Akses Jalan

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	8
Rejoso	7
Pace	5
Nganjuk	9
Lengkong	6

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan untuk hirarki alternatif terhadap sub kriteria akses jalan.

4.5 Kriteria *Ramah Lingkungan*

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil perhitungan jumlah emisi yang direduksi dan pengukuran jarak pemukiman dengan alternatif lokasi yang diusulkan. Hasil perhitungan dan perhitungan digunakan untuk pemberian nilai level kepentingan.

4.5.1 Jarak Pemukiman

Hasil penilaian jarak pemukiman didapatkan berdasarkan pengukuran pada setiap alternatif lokasi yang diusulkan, hasil ini menjadi acuan untuk penilaian level kepentingan. Hasil penilaian level kepentingan untuk jarak pemukiman dapat dilihat pada tabel 4.9.

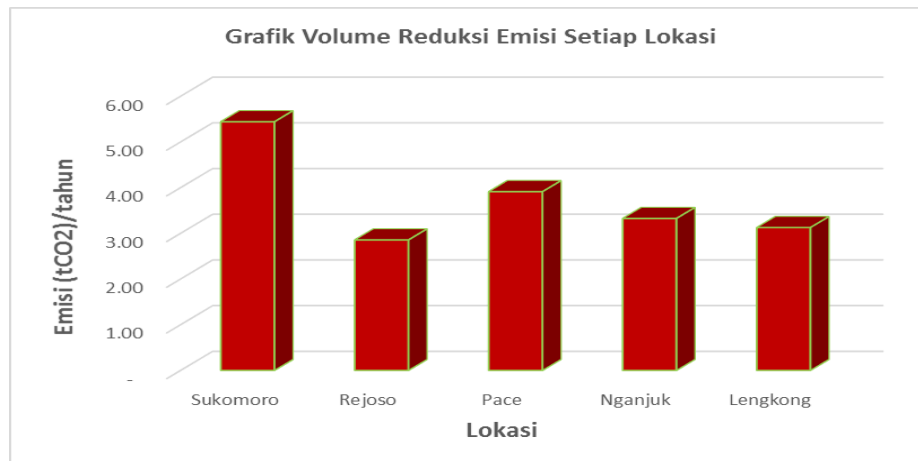
Tabel 4.9 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Kriteria Jarak Pemukiman

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	6
Rejoso	8
Pace	5
Nganjuk	7
Lengkong	6

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan untuk hirarki alternatif terhadap sub kriteria jarak pemukiman.

4.5.2 Hasil Perhitungan Reduksi Emisi

Hasil perhitungan reduksi emisi pada setiap alternatif lokasi diperoleh berdasarkan perbandingan jumlah emisi yang dihasilkan oleh setiap pembangkit listrik tenaga mesin diesel melalui energi yang dibangkitkan. Hasil perhitungan reduksi emisi pada setiap lokasi dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.19 Hasil Pengurangan Emisi karbon dioksida (Co2) Pada Setiap Alternatif Lokasi

Berdasarkan gambar di atas dihasilkan bahwa, alternatif lokasi Sukomoro memiliki kemampuan reduksi emisi karbon tertinggi yaitu 5.44 ton carbon/tahun, sedangkan lokasi Pace, Nganjuk, Lengkong dan Rejoso mampu mereduksi emisi sebanyak 3.91, 3.32, 3.13 dan 2.85 ton carbon /tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan reduksi emisi tersebut, maka didapatkan nilai level kepentingan seperti ditunjukkan pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Penilaian Level Kepentingan Sub Emisi

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	9
Rejoso	5
Pace	8
Nganjuk	7
Lengkong	6

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan untuk hirarki alternatif terhadap sub kriteria emisi.

4.5.3 Hasil Penilaian *Effect EMI* terhadap Masyarakat

Hasil penilaian *electromagnetic interference (EMI)* didapatkan berdasarkan pengukuran pada setiap alternatif lokasi yang diusulkan, hasil ini

menjadi acuan untuk penilaian level kepentingan. Hasil penilaian level kepentingan untuk *electromagnetic interference* dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Penilaian level kepentingan sub kriteria EMI

Uraian	Nilai Level Kepentingan
Sukomoro	9
Rejoso	6
Pace	7
Nganjuk	8
Lengkong	5

Hasil penilaian level kepentingan ini digunakan untuk perbandingan berpasangan untuk hirarki alternatif terhadap sub kriteria *electromagnetic interference*.

4.6 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas

Setelah penilaian level kepentingan kriteria utama berdasarkan *expert*, selanjutnya dilakukan perhitungan bobot prioritas menggunakan model *FAHP*. Tabel 4.12 menunjukkan perolehan bobot prioritas kriteria utama dan sub kriteria.

Bobot prioritas dibagi dalam dua hirarki, hirarki pertama menunjukkan bobot prioritas kriteria utama, dan hirarki kedua adalah menunjukkan hasil bobot prioritas sub kriteria.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas Untuk Kriteria Utama dan Sub Kriteria.

Kriteria	<i>Fuzzy Synthetic</i>			Bobot Vektor Priority	Bobot Normalisasi
Produksi energi	0.29	0.37	0.45	1	0.5574
Ekonomis	0.21	0.26	0.33	0.6181	0.3446
Akses Grid	0.3	0.37	0.44	1	0.5491
Akses Jalan	0.15	0.18	0.26	0.3196	0.1754

BEP	0.19	0.23	0.3	0.5017	0.2754
Ramah Lingkungan	0.16	0.18	0.22	0.1754	0.0978
<i>Electromagnetic Interference</i>	0.3	0.45	0.57	0.0582	0.0312
Emisi	0.22	0.35	0.68	1	0.5398
Jarak Pemukiman	0.14	0.21	0.28	0.7941	0.42869

4.6.1 Hasil Bobot Prioritas Kriteria Utama

Hasil bobot prioritas untuk kriteria utama menunjukkan kriteria produksi energi listrik memiliki bobot prioritas tertinggi yaitu 1, kemudian kriteria ekonomi memiliki bobot prioritas kedua yaitu 0.6181 untuk kriteria terakhir yaitu kriteria lingkungan dengan perolehan bobot adalah 0.1754.

Kriteria yang memiliki bobot nilai tertinggi merupakan kriteria yang terbaik. Kriteria tersebut harus diutamakan dalam melakukan perhitungan perbandingan alternatif dengan elemen kriteria. Hasil perhitungan bobot prioritas dari hirarki sub kriteria dijadikan acuan untuk perhitungan perbandingan berpasangan pada hirarki alternatif lokasi.

4.6.1.1 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas Untuk Kriteria Ekonomi

Berdasarkan hasil perhitungan bobot prioritas kriteria ekonomi menunjukkan sub kriteria akses grid memiliki bobot prioritas tertinggi yaitu 1, kemudian sub kriteria *paypack periode* memiliki bobot prioritas kedua yaitu 0.5017 sedangkan sub kriteria akses jalan berada pada bobot prioritas ketiga yaitu 0.3196.

Kriteria yang memiliki bobot nilai tertinggi merupakan kriteria yang terbaik. Kriteria tersebut harus diutamakan dalam melakukan perhitungan perbandingan pada hirarki alternatif terhadap elemen sub kriteria. Sedangkan untuk bobot normalisasi digunakan untuk digunakan untuk melakukan perhitungan terakhir ketika pemilihan lokasi *wind farm*.

4.6.1.2 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas Kriteria Ramah Lingkungan

Hasil perhitungan bobot prioritas kriteria ramah menggunakan model *F-AHP* menunjukkan bobot prioritas tertinggi adalah sub kriteria jarak pemukiman dengan bobot yang dihasilkan adalah 1, kemudian sub kriteria emisi memiliki bobot prioritas kedua yaitu 0.7941 sedangkan bobot prioritas ketiga adalah sub kriteria *elektromagnetik inferemce (EMI)* perolehan bobot yaitu 0.794 dan 0.00582.

Kriteria yang memiliki bobot nilai tertinggi merupakan kriteria yang terbaik. Kriteria tersebut harus diutamakan dalam melakukan perhitungan perbandingan alternatif dengan elemen kriteria. Sedangkan untuk bobot normalisasi digunakan untuk digunakan untuk melakukan perhitungan terakhir yaitu, pemilihan lokasi *wind farm*. Hasil perhitungan bobot prioritas dari hirarki sub kriteria dijadikan acuan untuk perhitungan perbandingan berpasangan pada hirarki alternatif lokasi.

4.7 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Hirarki Alternatif Terhadap Sub Kriteria

Hasil perhitungan bobot elemen hirarki diperoleh berdasarkan perbandingan berpasangan setelah dilakukan penilaian level kepentingan. Penilaian level kepentingan itu diperoleh dari hasil perhitungan dan pengukuran. Tabel 4.13 menunjukkan hasil perhitungan bobot elemen hirarki alternatif terhadap sub kriteria.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Bobot Prioritas Untuk Kriteria Utama dan Sub Kriteria.

.Kriteria	Bobot Normalisasi				
	Sukomoro	Rejoso	Pace	Nganjuk	Lengkong
Produksi energi					
Estimasi potensi energi	0.2637	0.0967	0.2202	0.263	0.1557
Ekonomis					
Akses Grid	0.277	0.1883	0.0444	0.3764	0.1139

<i>Payback periode</i>	0.3875	0.13	0.0045	0.2265	0.2515
Akses Jalan	0.2491	0.1623	0.2084	0.2491	0.1311
Ramah Lingkungan					
Jarak Pemukiman	0.1971	0.2441	0.1669	0.2119	0.18
Emisi	0.2637	0.0967	0.2202	0.2637	0.1557
<i>Electromagnetic Interference</i>	0.3764	0.1139	0.1883	0.277	0.0444

4.7.1 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Alternatif Terhadap Sub Kriteria Produksi Energi Listrik

Setelah dilakukan penilaian level kepentingan berdasarkan hasil produksi energi listrik pada setiap lokasi, maka hasil perhitungan bobot pada elemen hirarki alternatif terhadap sub kriteria estimasi produksi energi menggunakan model F-AHP ditunjukkan pada tabel 4.14.

Dari hasil perhitungan menggunakan model *F-AHP* untuk perbandingan berpasangan pada hirarki alternatif lokasi untuk kriteria produksi energi listrik dihasilkan bahwa, alternatif yang memiliki keunggulan adalah Sukomoro dan Nganjuk dengan perolehan bobot sebesar 0.2637, alternatif lokasi Pace berada pada urutan kedua dengan perolehan sebesar 0.2202 sedangkan untuk urutan keempat dan kelima adalah alternatif lokasi Lengkong dan Rejoso dengan perolehan bobot yaitu 0.1557 dan 0.0967.

4.7.2 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Alternatif Terhadap Sub Kriteria Ekonomi

Berdasarkan hasil perhitungan bobot prioritas kriteria ekonomi didapatkan, perhitungan bobot elemen pada hirarki alternatif dimulai dari sub kriteria akses grid, *payback periode* dan akses jalan.

Dari hasil perhitungan menggunakan model *F-AHP* perbandingan elemen alternatif terhadap sub kriteria akses grid didapatkan bahwa lokasi Nganjuk memiliki bobot tertinggi yaitu 0.3764, untuk urutan kedua dan ketiga dimiliki oleh

lokasi Sukomoro dan Rejoso dengan perolehan nilai bobot yaitu, 0.2770 dan 0.188, sedangkan urutan keempat dan kelima adalah lokasi Lengkong dan Pace dengan bobot yang dihasilkan 0.1139 dan 0.0444.

Untuk sub kriteria *payback periode* didapatkan bahwa lokasi Lengkong memiliki bobot tertinggi yaitu 0.3875, untuk urutan kedua dan ketiga dimiliki oleh lokasi Lengkong dan Nganjuk dengan perolehan nilai bobot yaitu, 0.2515 dan 0.2265, sedangkan urutan keempat dan kelima adalah lokasi Rejoso dan Pace dengan bobot yang dihasilkan 0.1299 dan 0.0045.

Untuk sub kriteria akses jalan didapatkan bahwa lokasi Sukomoro dan Nganjuk memiliki bobot tertinggi yaitu 0.2491, untuk urutan kedua dan ketiga dimiliki oleh lokasi Pace dan Rejoso dengan perolehan bobot yaitu, 0.2084 dan 0.1623, sedangkan urutan keempat adalah lokasi Lengkong dengan bobot yang dihasilkan sebesar 0.1311.

4.7.3 Hasil Perhitungan Bobot Elemen Hirarki Alternatif Lokasi Terhadap Sub Kriteria Ramah Lingkungan

Berdasarkan hasil perhitungan bobot prioritas kriteria ramah lingkungan diperoleh bahwa urutan perhitungan bobot dari elemen hirarki alternatif dimulai dari sub kriteria jarak pemukiman, emisi, dan *electromagnetic interference*.

Dari hasil perhitungan menggunakan model *F-AHP* perbandingan elemen alternatif terhadap sub kriteria jarak pemukiman Rejoso didapatkan bahwa lokasi Nganjuk memiliki bobot tertinggi yaitu 0.2441, untuk urutan kedua dan ketiga dimiliki oleh lokasi Nganjuk dan Sukomoro dengan perolehan bobot yaitu, 0.2119 dan 0.1971, sedangkan urutan keempat dan kelima adalah lokasi Lengkong dan Pace dengan bobot yang dihasilkan 0.1803 dan 0.1669.

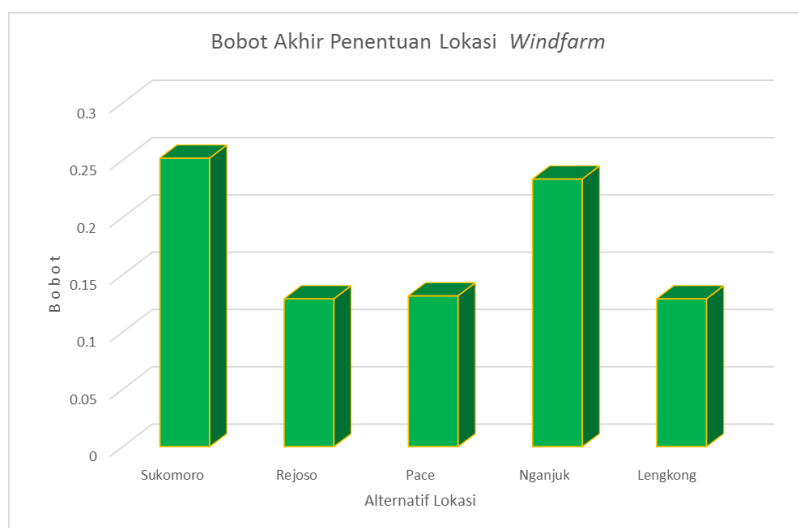
Untuk sub kriteria emisi didapatkan bahwa lokasi Sukomoro dan Nganjuk memiliki bobot tertinggi yaitu 0.2367, untuk urutan kedua dan ketiga dimiliki oleh lokasi Pace dan Lengkong dengan perolehan bobot yaitu, 0.2202 dan 0.1556, sedangkan urutan keempat adalah lokasi Rejoso dengan bobot yang dihasilkan sebesar 0.0967.

Untuk sub kriteria *electromagnetic interference* didapatkan bahwa lokasi Sukomoro memiliki bobot tertinggi yaitu 0.3764, untuk urutan kedua dan ketiga dimiliki oleh lokasi Nganjuk dan Pace dengan perolehan nilai bobot yaitu, 0.277 dan 0.1883, sedangkan urutan keempat dan kelima adalah lokasi Rejoso dan Lengkong dengan bobot yang dihasilkan 0.1139 dan 0.0444.

Karena itu, untuk mendapatkan lokasi *wind farm* ideal maka perlu di hitung bobot secara keseluruhan baik pada perbandingan berpasangan kriteria, kriteria maupun pada alternatif. Hal ini bertujuan untuk mengetahui lokasi mana yang paling ideal digunakan untuk pembangunan *wind farm* secara keseluruhan.

4.8 Hasil Perhitungan Bobot Keputusan

Hasil perhitungan bobot keputusan didapatkan berdasarkan penjumlahan dari setiap alternatif lokasi terhadap elemen sub kriteria. Gambar 4.18 menunjukkan hasil perhitungan bobot keputusan.



Gambar 4.20 Bobot Keputusan Lokasi *Wind farm*

Berdasarkan grafik di atas menunjukkan bahwa alternatif lokasi Sukomoro memiliki bobot tertinggi yaitu 0.251, disusul oleh lokasi Nganjuk yang berada pada urutan kedua dengan perolehan bobot adalah 0.2335, sedangkan untuk Rejoso,

Lengkong dan Pace berada pada urutan ketiga, keempat dan kelima dengan perolehan bobot yaitu 0.1316, 0.1290 dan 0.1289.

Tingginya bobot pada lokasi Sukomoro dipengaruhi keunggulan lima sub kriteria yaitu, estimasi potensi energi listrik, *payback periode*, akses jalan, emisi dan *electromagnetic interference*, untuk lokasi Nganjuk keunggulan sub kriteria yang dimiliki yaitu estimasi potensi energi listrik, akses grid, akses jalan, dan emisi. Sedangkan Rejoso hanya memiliki keunggulan sub kriteria jarak pemukiman.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di atas maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Frekuensi angin yang dominan terjadi yaitu berkisar 3 – 4 m/s dengan probabilitas yang dihasilkan yaitu 18 % - 27.85%,
2. Komposisi *BPNN* yang paling optimal digunakan untuk prediksi kecepatan angin yaitu 25 *hidden neuron*, *learning rate* 0.6 dan 1000 iterasi. Komposisi ini didapatkan berdasarkan perolehan *MAPE* mendekati *error minimum*.
3. Hasil estimasi produksi energi listrik pada lima lokasi yang diusulkan, Sukomoro mampu membangkitkan energi listrik sebesar 7557.33 kWh/tahun, sedangkan untuk lokasi Pace, Rejoso Nganjuk, Lengkong dan energi listrik yang dibangkitkan adalah 5432.68 kWh/tahun, 3964.73 kWh/tahun, 3795.2 kWh/tahun, 3568.07 kWh/tahun.
4. Jumlah emisi paling maksimal direduksi yaitu Sukomoro dan Nganjuk.
5. Bobot prioritas kriteria utama paling tinggi yaitu produksi energi listrik, ekonomis dan ramah lingkungan. Untuk kriteria ekonomis, bobot prioritas tertinggi dihasilkan oleh sub kriteria akses grid, *payback periode*, dan akses jalan sedangkan untuk kriteria ramah lingkungan, bobot prioritas tertinggi dihasilkan oleh sub kriteria jarak pemukiman, emisi dan *electromagnetic inference*.
6. Alternatif lokasi yang paling optimal dilakukan pembangunan *wind farm* di Kabupaten Nganjuk yaitu Sukomoro, Nganjuk, Rejoso, Pace, dan Lengkong.

5.2 Saran

Hasil ini bisa digunakan untuk membantu dan memudahkan pemerintah atau investor dalam upaya menentukan lokasi pembangunan *wind farm* di Kabupaten Nganjuk

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dirjen ESDM, “Statistik Ketenagalistrikan,” Direktorat Jendral Ketenagalistrikan, Jakarta, 2015.
- [2] Dinas ESDM, “Data Energi dan Kelistrikan,” Provinsi Jawa Timur, 2012.
- [3] D. Sutomo, “Interview of Officer Data BMKG,” Kabupaten Nganjuk, 2015.
- [4] Yu-Lang, Huang. Tsu-Ming Yeh, “Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP,” *El Savier*, pp. pp.159-169, 2014.
- [5] S.M Muyen, Junji Tamura, Thosiaki Murata, “Stability Augmentation of Grid – Connected Wind Farm,” *Springer*, 2009.
- [6] M.K. Mc William, G.C. van Kooten, C. Crawford, “A method for optimizing the location of wind farms,” *El Savier*, vol. Vol.48, pp. pp.287-299, 2012.
- [7] J.M.Sanchez-Lozano, M.S. García-Cascales, M.T. Lamata, “Identification and selection of potential sites for onshore wind farms, development in Region of Murcia, Spain,” *El Savier*, pp. pp. 311- 324, 2014.
- [8] Ilhan Talinli¹, Emel Topuz¹, Egemen Aydin¹ and Sibel B. Kabakcı, “A Holistic Approach for Wind Farm Site Selection,” *Istanbul Yalova University*, 2013.
- [9] Sittichoke P, Weerakorn O, “Optimal placement of wind turbines within wind farm using binary particle swarm optimization with time-varying acceleration coefficients,” *El Savier*, p. pp. 266–276, 2013.
- [10] Tegou LI, Polatidis H, Haralambopoulos DA., “Environmental management framework for wind farm siting: methodology and case study J Environ Management,” *El Savier*, pp. pp. 2134-2147, 2010.
- [11] Standard, “AWEA Small Wind Turbine Performance and Safety Standard,” Washington, 2012.
- [12] Christopher Barclay, “Standar Distance from housing of wind farm-SN/SC/5221,” Europe, 2010.
- [13] Daryanto, Y, *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*, Yogyakarta: Balai PPTAG-UPT LAGG, 2007.

- [14] Handoko, T. Hani, Dasar-Dasar Management Produksi dan Operasi, Yogyakarta: Yogyakarta: BPFE, 1984.
- [15] Chang, C.F, “Application of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP,” *IEEE*, pp. pp 649-655,, 2009.
- [16] Lembaga Angin Nusantara, “Data Karakteristik Turbin Angin TSD 500,,” Bandung, 2014.
- [17] Makridakis, Spyros dkk, “Metode dan Aplikasi Peramalan. Jilid 1. Edisi Pertama,” Erlangga, Jakarta, 1993.
- [18] Sri Kusumadewi, Membangun Jaringan Syaraf Tiruan, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [19] M. H. Purnomo, Supervised Neural Network dan Aplikasinya, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [20] Puspitaningrum, Diah, Pengantar Jaringan Saraf Tiruan, Yogyakarta: Andi, 2006.
- [21] Malik Ibrahim, “Analisis Tekno-Ekonomi Desain Konfigurasi, Pusat Listrik Tenaga Angin (Wind Farm) dan Perhitungan Feed In Tariff Di Indonesia,,” Jakarta: Universitas Indonesia, 2012.
- [22] Rahayu, Iin Tri, dkk, Observasi dan Wawancara, Malang: Bayumedia, 2004.
- [23] R. Indonesia, ““Pengendalian Pencemaran Udara,” PP No. 41 Tahun 1999.
- [24] Kementerian Lingkungan Hidup, “State Ministry for Environment, Republic of Indonesia,” UNFCCC, 2010 .
- [25] Marimin, Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk, 2005: Grasindo, Jakarta.
- [26] Gao Ling-jun, dkk , “Evaluation System for Reliability of Grid connected Wind Farms Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process,” *IEEE*, 2011.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Lokasi Sukomoro

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik Turbin Angin (kW)	Probabilitas Kecepatan Angin (%)	Frekuensi (tahun)	Energi listrik (kwh/tahun)
0	0	2	144	0
1	0.000492352	3	216	0
2	0.003938816	9	648	0
3	0.013293504	6	432	5.742793728
4	0.031510528	20.1	1447.2	45.82891192
5	0.061544	20.1	1447.2	89.0664768
6	0.106348032	16.5	1188	127.1071678
7	0.168876736	10	720	121.5912499
8	0.252084224	6	432	108.9003848
9	0.358924608	4	288	106.21297
10	0.432352	2	144	70.898688
11	0.489	0.9	64.8	36
12	0.5	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
Total				711.34

Lokasi Rejoso

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik Turbin Angin (kW)	Probabilitas Kecepatan Angin (%)	Frekuensi (tahun)	Energi listrik (kwh/tahun)
0	0	0.1	7.2	0
1	0.000492352	13	936	0
2	0.003938816	18	1296	0
3	0.013293504	21	1512	20.09977805
4	0.031510528	17	1224	38.56888627
5	0.061544	14	1008	62.036352

6	0.106348032	8	576	61.25646643
7	0.168876736	4	288	48.63649997
8	0.252084224	2	144	36.30012826
9	0.358924608	2	144	51.68514355
10	0.432352	1	72	35.449344
11	0.489	0.1	7.2	3.6
12	0.5	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
Total				357.62

Lokasi Pace

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik Turbin Angin (kW)	Probabilitas Kecepatan Angin (%)	Frekuensi (tahun)	Energi listrik (kwh/tahun)
0	0	3	216	0
1	0.000492352	14	1008	0
2	0.003938816	17	1224	0
3	0.013293504	16	1152	15.31411661
4	0.031510528	14	1008	31.76261222
5	0.061544	12	864	53.174016
6	0.106348032	8	576	61.25646643
7	0.168876736	6	432	72.95474995
8	0.252084224	4	288	72.60025651
9	0.358924608	2	144	51.68514355
10	0.432352	2	144	70.898688
11	0.489	1	72	36
12	0.5	0.7	50.4	25.2
13	0	0.01	0.72	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0

19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
Total				490.8

Lokasi Nganjuk

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik Turbin Angin (kW)	Probabilitas Kecepatan Angin (%)	Frekuensi (tahun)	Energi listrik (kwh/tahun)
0	0	1	72	0
1	0.000492352	12	864	0
2	0.003938816	17	1224	0
3	0.013293504	18	1296	17.22838118
4	0.031510528	16	1152	36.30012826
5	0.061544	13	936	57.605184
6	0.106348032	9	648	68.91352474
7	0.168876736	6	432	72.95474995
8	0.252084224	4	288	72.60025651
9	0.358924608	2	144	51.68514355
10	0.432352	1	72	35.449344
11	0.489	1	72	36
12	0.5	0.1	0	3.6
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
Total				452.33

LAMPIRAN B**Hasil Perhitungan Biaya Investasi Pada Setiap Alternatif Lokasi****1. Alternatif Lokasi Sukomoro**

Uraian	Harga Satuan (Rp)	Volume (kali/unit)	Jumlah (Rp)
Pengeluaran (Investasi Awal)			
Biaya pembelian wind turbin TSD 500*	10.500.000	11	115,500,000
Biaya menara*	1,450,000	11	15,950,000
Biaya pemasangan*	1,350,000	11	14,850,000
Biaya lahan@meter*	325,000	120	39,000,000
Total			185,300,000

2. Alternatif Lokasi Rejoso

Uraian	Harga Satuan (Rp)	Volume (kali/unit)	Jumlah (Rp)
Pengeluaran (Investasi Awal)			
Biaya pembelian wind turbin TSD 500*	10,500,000	11	115,500,000
Biaya menara*	1,450,000	11	15,950,000
Biaya pemasangan*	1,350,000	11	14,850,000
Biaya lahan@meter*	130,000	120	15,600,000
Total			161,900,000

3. Alternatif Lokasi Pace

Uraian	Harga Satuan (Rp)	Volume (kali/unit)	Jumlah (Rp)
Pengeluaran (Investasi Awal)			
Biaya pembelian wind turbin TSD 500*	10,500,000	11	115,500,000.00
Biaya menara*	1,450,000	11	15,950,000.00
Biaya pemasangan*	1,350,000.00	11	14,850,000.00
Biaya lahan@meter*	285,000	120	34,200,000
Total			180,500,000

4. Alternatif Lokasi Nganjuk

Uraian	Harga Satuan (Rp)	Volume (kali/unit)	Jumlah (Rp)
Pengeluaran (Investasi Awal)			
Biaya pembelian wind turbin TSD 500*	10,500,000.00	11	115,500,000
Biaya menara*	1,450,000.00	11	15,950,000
Biaya pemasangan*	1,350,000.00	11	14,850,000
Biaya lahan@meter*	300,000	120	36,000,000
Total			182,300,000

5. Alternatif Lokasi Lengkong

Uraian	Harga Satuan (Rp)	Volume (kali/unit)	Jumlah (Rp)
Pengeluaran (Investasi Awal)			
Biaya pembelian wind turbin TSD 500*	10,500,000	11	115,500,000
Biaya menara*	1,450,000	11	15,950,000
Biaya pemasangan*	1,350,000.00	11	14,850,000
Biaya lahan@meter*	175,000	120	21,000,000
Total			167,300,000

LAMPIRAN C

```
clear all
% KUMPULAN DATA
% Lokasi= {'.....'};
data = xlsread('PEMBOBOTAN_1.xlsx','kriteria');
    %Menghitung L, M, U
    jumlah1=sum(data(1:7,1));
    jumlah2=sum(data(1:7,2));
    jumlah3=sum(data(1:7,3));
%   Menghitung Fuzzy sintetys kolom A/L

L=[];
for i=1:7
    hasilL=data(i,1)/jumlah3;
    L=[L hasilL];
end
    % Menghitung Fuzzy sintetys kolom B/M

%   M1=data(1,2)/jumlah2;
%   M2=data(2,2)/jumlah2;
%   M3=data(3,2)/jumlah2;
%   M4=data(4,2)/jumlah2;
%   M5=data(5,2)/jumlah2;
M=[];
for i=1:7
    hasil=data(i,2)/jumlah2;
    M=[M hasil];
end

%   % Menghitung Fuzzy sintetys kolom c/U
    U1=data(1,3)/jumlah1;
    U2=data(2,3)/jumlah1;
    U3=data(3,3)/jumlah1;
    U4=data(4,3)/jumlah1;
    U5=data(5,3)/jumlah1;
    U6=data(6,3)/jumlah1;
    U7=data(7,3)/jumlah1;

U =[];
for i=1:7
    hasil=data(i,3)/jumlah1;
    U=[U hasil];
end

%Menghitung DEFuzzyKASI sintetys kolom c
M=M;
for i=1:length(M);
    if M(1,1)>=M(1,i);
```



```

    A(1,i)=1;
end
if M(1,1)<M(1,i);
    A(1,i)=(L(1,i)-U1)/((M(1,1)-U1)-(M(1,i)-L(1,i))); %kondisi 1
end
end

for i=1:7
if M(1,2)>=M(1,i);
    B(1,i)=1;
end
if M(1,2)<M(1,i);
    B(1,i)=(L(1,i)-U2)/((M(1,2)-U2)-(M(1,i)-L(1,i))); %kondisi 2
end
end

for i=1:7
if M(1,3)>=M(1,i); %kondeisi 3 ada salah pada parameter 2
    C(1,i)=1;
else
    C(1,i)=(L(1,i)-U3)/((M(1,3)-U3)-(M(1,i)-L(1,i)));
end
end
for i=1:7
if M(1,4)>=M(1,i); %kondeisi 3 ada salah pada parameter 2
    D(1,i)=1;
else
    D(1,i)=(L(1,i)-U4)/((M(1,4)-U4)-(M(1,i)-L(1,i)));
end
end

for i=1:7
if M(1,5)>=M(1,i); %kondeisi 3 ada salah pada parameter 2
    E(1,i)=1;
else
    E(1,i)=(L(1,i)-U5)/((M(1,5)-U5)-(M(1,i)-L(1,i)));
end
end
for i=1:7
if M(1,6)>=M(1,i); %kondeisi 3 ada salah pada parameter 2
    F(1,i)=1;
else
    E(1,i)=(L(1,i)-U6)/((M(1,6)-U6)-(M(1,i)-L(1,i)));
end
end
for i=1:7
if M(1,7)>=M(1,i); %kondeisi 3 ada salah pada parameter 2
    G(1,i)=1;
else

```

```

    E(1,i)=(L(1,i)-U7)/((M(1,7)-U7)-(M(1,i)-L(1,i)));
end
end

A_kecil=min(A);
A1=abs(A_kecil);
B_kecil=min(B);
B1=abs(B_kecil);
C_kecil=min(C);
C1=abs(C_kecil);
D_kecil=min(D);
E_kecil=min(E);
F_kecil=min(F);
G_kecil=min(G);
D1=abs(D_kecil);
E1=abs(E_kecil);
F1=abs(F_kecil);
G1=abs(G_kecil);

%menghitung nilai bobot/ possibility
% kecil=[A_kecil;B_kecil; C_kecil; D_kecil; E_kecil; F_kecil; G_kecil];
kecil=[A1;B1;C1;D1;E1; F1; G1];

%MENGHITUNG NILAI DEFUZIFIKASI
total_matrix_kecil=sum(kecil);

%Keputusan
Keputusan_A=A1/total_matrix_kecil;
Keputusan_B=B1/total_matrix_kecil;
Keputusan_C=C1/total_matrix_kecil;
Keputusan_D=D1/total_matrix_kecil;
Keputusan_E=E1/total_matrix_kecil;
Keputusan_F=F1/total_matrix_kecil;
Keputusan_G=G1/total_matrix_kecil;

%MATRIK KECIL PENENTUAN KEPUTUSAN
Penentuan_keputusan=[Keputusan_A;Keputusan_B;Keputusan_C;Keputusan_D
;Keputusan_E;Keputusan_F;Keputusan_G]

% %plot grafik
% bar(Penentuan_keputusan(1:5,1));figure(gcf);
% title('Penentuan Hasil akhir');
% legend('Lokasi');

```

BIODATA PENULIS



Teuku Multazam bin Mansur, anak terakhir dari pasangan (alm) T H Mansur bin Muda Gade dan (almh) Cut Hj Mardhiah binti Ibrahim. Penulis lahir di Gampong Mulieng, Pidie Jaya pada tanggal 29 Nopember 1986. Penulis memulai pendidikannya dari SDN I Gampong Mulieng, SMP Negeri 2 Meureudu, dan SMA Negeri 5 Banda Aceh. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2004, penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro di Unsyiah dan Unida.

Kemudian penulis melanjutkan studi S2 di Dapartmen Teknik EJurusan Teknik Elektro, program studi Teknik Sistem Tenaga, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga saat ini. Penulis selama kuliah S2 menjadi member di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Penulis dapat dihubungi melalui alamat email teuku.multazam@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan